

Изазови климатских промена, потребе зелене агенде за критичним минералима и раст интереса других за одлагање отпада и експлоатацију минералних ресурса у Србији.

Сажетак:

Под утицајем климатских промена, у Србији су учестале поплаве услед екстремних падавина у кратким периодима, све дуже су суше услед измештања падавина из вегетативног дела године и све су снажније олује са градом. Пораст температуре утиче на водоснабдевање, ратарење, сточарство и на сав живи свет. Додатну опасност представља и настојање других земаља да у Србију извезу отпад који не желе да задрже на својој територији, те да Србију користе као сировинску базу у којој би се минерали прибављали на јевтинији начин, уз депоније, испуштање вода и уз разарајуће утицаје на животну средину, што у многим земљама није прихватљиво. Поменута додатна опасност је уско повезана са реакцијама развијених земаља на климатске промене и са њиховим настојањем да очувају своју животну средину. Прокламовани циљ зелене агенде је очување животне средине и климе, смањење емисија CO₂ и замена фосилних горива. Ослања се, поред осталог, на електрична возила, батерије, соларне електране и ветроелектране. Захтева за ред величине веће количине критичних минерала, слабо заступљених у Земљиној кори. Рециклирање минерала захтева знатне количине енергије, и веома често је неизводљиво јер рециклирање није било на врху приоритета у фази пројектовања. Експлоатација и прерада минерала захтевају значајан утросак фосилних горива и носе неприхватљиву штету људима и природи у земљама које пристају на јевтино рударење. Повећање глобалне просечне температуре и раст утроска фосилних горива показују да су укупни ефекти досадашњих мера декарбонизације били недовољни. Бројне одлуке зелене агенде донели су политичари под утицајем профитно мотивисаног крупног капитала, уз недовољан утицај објективних ставова независних стручњака, уз уважавање закона тржишта али не и закона физике. Временски оквир профитно оријентисаног планирања је прекратак и не може да уважи динамику енергетског сектора. Уз неизвесност тржишта, прописи и подстицаји нису охрабрили инвеститоре да предузму исправне кораке. Покушај масовније примене направа зелене агенде суочен је са проблемима у набавци критичних минерала на којима је заснована већина направа. Премда многе направе називамо обновљивим, у пракси нећемо бити у стању да их обновимо. Еколошки прихватљиво прибављање критичних минерала је превише скупо, док би дугорочан ослонац на снабдевање из Кине довео економију у незавидан положај. Јачају настојања да се минерали прибављају у земљама какве су Конго, Мароко и Србија, где се може рударити на јевтин начин, са депонијама и са испуштањем проблематичних вода у окружење, уз девастирајуће ефекте по земљу, воде и живи свет. То је омогућило ЕУ да еколошке проблеме рударење извезе у друге земље из којих прибавља сировине. Према досадашњој пракси, приходи земље домаћина су по правилу незнатни, док је утицај на окружење и становништво погубан и често непоправљив. Водеће рударске компаније су

сарађивале са земљама у којима постоји висок коруптивни потенцијал, нефункционалне институције, и где су аутократске власти спремне да склопе споразум о девестирајућем рударењу. Међутим, растући отпори становништва јефтином и еколошки штетном рударењу доводили су и до оружаних сукоба и грађанских ратова, што је угрозило дугорочну сигурност снабдевања минералима. Све већа потражња за критичним минералима доводи у питање одрживост постојеће праксе. Развој нових технологија и направа за декарбонизацију мора укључити решења која користе минерале обилато заступљене у Земљиној кори и лако доступне, док дугорочна одрживост снабдевања минералима из земаља трећег света захтева да се забрани рударење у насељеним областима, на пољопривредном или шумском земљишту или у близини водоносних система, док се локалном становништву сваке земље која пристаје да буде сировинска база мора понудити праведан удео у приходима. Поред тога, стање земљишта, вода и ваздуха у земљама које предају сировине мора достићи и одржавати ниво најбољих примера у земљама које преузимају и користе минерале. Зарад придруживања цивилизованом свету, у Србији треба најпре санирати постојеће руднике и депоније, спречити да Србија постане станица туђег отпада и забранити рударење са депонијама или испуштањем проблематичних вода, какво се већ спроводи у источној Србији и какво се планира у долини Јадра и на другим местима западне Србије. Требало би обуставити све припреме за градњу нових рудника све док се земљиште, воде и ваздух у Бору, Мајданпеку, Новом Пазару, Зрењанину и целој Србији не доведу у склад са Аустријом, Норвешком и Луксембургом, што укључује и довођење еколошког и хемијског статуса воде у Борској реци до доброг или бољег. Другачије поступање би погоршало постојеће стање, обесхрабрило друге земље да нас приме у своје друштво, онемогућило процесе интеграција и трајно искључило Србију из цивилизованог света.

Contents

| | |
|--|----|
| 1. Увод..... | 3 |
| 2. Потребне актуалних технологија за критичним минералима | 4 |
| 3. Доступност минерала и могућност њиховог прибављања | 9 |
| 4. Критични минерали неопходни за достизање ННЕ до 2050. | 12 |
| 5. Искуства земаља у којима се прибављају критични минерали..... | 17 |
| 6. Економске, еколошке и политичке импликације пројекта Јадар..... | 22 |
| 6.1. Нови закони који промовишу експлоатацију минералних ресурса..... | 22 |
| 6.2. Финансијски аспекти експлоатације јадарита | 24 |
| 6.3. Ризици које доноси пројекат Јадар..... | 27 |
| 6.4. Јавно исказани ставови и планови инвеститора..... | 28 |
| 6.5. Угрожавање водоснабдевања..... | 31 |
| 6.6. Досадашња политика ЕУ | 32 |
| 6.7. Негативне последице планираног рударења на односе Србије и ЕУ | 33 |
| 7. Дискусија и препоруке | 33 |
| Референце | 34 |

1. Увод

Просечна температура ваздуха на површини Земље је током првих девет месеци 2024. године [1] премашила преиндустријски ниво за 1,54°C. Истовремено, глобална годишња потрошња енергије из фосилних горива расла је неколико пута брже од комбинованог раста енергије из соларних и ветроелектрана [2], док су емисије CO₂ достигле историјски максимум. Ови узнемирујући подаци говоре о недовољним и/или неадекватним мерама које се предузимају ради ублажавања климатских промена. Највећи глобални емитери CO₂ су сектори енергетике и транспорта [3], и зато су за окосницу нискоугљеничних технологија [4] узета електрична возила, соларне електране, ветроелектране и батеријска складишта енергије у возилима и у склопу електричне мреже. Планирано сузбијање фосилних горива се не одвија на задовољавајући начин. Поред тога, производња кључних направа и система захтевају много веће количине критичних сировина [5], [6], геохемијски оскудних минерала којих у Земљиној кори у количини знатно мањој од 0,01%. Већ постојећа криза у снабдевању критичним минералима погоршана је падом концентрације у рудним налазиштима, што повећава енергетски интензитет. Услед занемаривања социо-еколошких последица рударења [7] расте отпор локалног становништва према компанијама које практикују јефтино рударење на штету животне средине, са штетним утицајима на живи свет и на уштрб јавног здравља. Неповољан низ догађаја и околности додатно повећава ионако велику доминацију Кине у области набавке минерала. У међувремену, зелена агенда би могла повећати потражњу за критичним минералима до 9 пута у сектору електричне енергије и до 7 пута у сектору транспорта [8]. Поред проблема у прибављању минерала, достизање циљева зелене агенде отежава и превелики ослонац на тржишне механизме, недовољно уважавање закона физике, сагледавање последица у одвећ кратком интервалу и недостатак темељних, импарцијалних анализа.

Док је свет суочен са значајним ризицима које доносе климатске промене, региони који снабдевају свет критичним минералима за нискоугљеничне додатно су угрожени вишеструко повећаном експлоатацијом у неповољним финансијским и еколошким условима. Ограничене резерве минерала [9] и раст њиховог енергетског интензитета откривају да се многи уређаји и системи који су називани обновљивим не могу обновити и поново изградити због оскудице минерала. Многе од новијих технологија суочавају се са уским грлима у свом ланцу снабдевања што је довело у питање њихову будућу употребу [10]. Студија о количинама критичних минерала потребних за уређаје зелене агенде и кључних резерви минерала наглашава потребу да се преиспитају технологије са ниским садржајем угљеника и елиминишу негативне последице тренутне праксе прибављања минерала. Друго поглавље овог документа даје преглед савремених решења са направа и система зелене агенде као и процену количина критичних минерала неопходних за њихову производњу. Прорачун полази од сценарија који омогућује достизање нултих нето емисија CO₂ до 2050. године. У прорачун је укључена и процена мрежних складишта електричне енергије која ће бити потребна за интеграцију нових капацитета соларних и ветроелектрана до 2050. године. У трећем поглављу дат је увид у тренутну доступност критичних минерала, преглед њихових резерви и ресурса, енергетски интензитет као и проблеми који могу утицати на њихову дугорочну доступност. Разматрања у четвртом поглављу полазе од циљева нултих нето емисија у 2050. години и дају процену укупне количине батерија, електричних возила, соларних електрана и ветроелектрана које произвести у датом року. На исхода могуће је одредити потребне количине критичних минерала и њиховог релативног удела у глобалним резервама као и односа са тренутном годишњом потражњом. Пето поглавље приказује искуства које је експлоатација минералних

ресурса донела локалном становништву у различитим земљама и регионима широм света. Као карактеристичан и илустративан пример, шести део је посвећен финансијским, еколошким, друштвеним и политичким импликацијама планиране експлоатације литијума, бора и других критичних минерала у Србији, укључујући долину реке Јадар, за коју се очекује да ће снабдевати ЕУ неопходним минералима и тиме смањити зависност од Кине. Сажетак кључних налаза и опција за решавање наведених проблема дати су у седмом поглављу, скупа са закључцима.

2. Потребне актуалних технологија за критичним минералима

Подаци о трендовима у стању и трендовима у сектору енергетике, о променама у енергетском миксу и емисијама CO₂ могу се наћи у лако доступним и међусобно конзистентним изворима [2], [11], [12], [13]. Глобална годишња примарна енергија достиже 659 EJ, при чему је кумулативни износ соларне енергије, енергије ветра, биогорива, хидроенергије и традиционалне биомасе мањи од 18%. Количина енергије из фосилних горива показује годишњи раст од 7,37 EJ, знатно већи од највеће од свих расположивих оцена (2,32 EJ) комбинованог пораста енергије из соларних и ветроелектрана од 2022. до 2023. године (објективне процене износе 1,21 EJ). Релативно учешће угља, природног гаса и нафте у фосилним горивима износи 0,342, 0,316 и 0,342, респективно. У оквиру енергије из фосилних горива, друмски и ваздушни саобраћај имају удео 0,144 и 0,028, респективно. Као последица, укупне емисије CO₂ премашиле су 40 Gt CO₂ (41,6), чиме је достигнут историјски максимум, при чему су емисије CO₂ из фосилних горива достигле 37,4 Gt CO₂, док се остатак односи на крчења шума и на друге изворе емисија.

Глобална потреба за критичним минералима зависи од броја и својстава неопходне нискоугљеничне опреме, где се убрајају електрична возила (ЕВ), соларне електране, ветроелектране, батеријска складишта и друга опрема са великим специфичним утрошком критичних минерала. Потреба за минералима зависи и од специфичне количине минерала која се користи приликом израде тражених направа и система. На основу сценарија нето нулте емисије из [2], Табела I сумира предвиђени пораст годишње производње електричне енергије и предвиђено повећање годишње производње из соларних и ветроелектрана повезаних на мрежу. Потребни инсталирани капацитет одговарајућих постројења израчунат је уз коришћење просечних фактора капацитета одређених на глобалном нивоу, на основу глобалне годишње производње енергије и података о укупној инсталираној снази у 2022. години. Ознаке Wind(e) и Sun(e) односе се на соларне и ветроелектране прикључене на мрежу, док We означава укупан годишњи глобални износ електричне енергије из свих извора. Вредност RESt (укупна производња енергије из соларних и ветроелектрана) у Табели I нешто је већа од RESe због релативно малог, али коначног удела енергије ветра и сунца која се користи изван мреже, за производњу зелених горива или за друге потребе. Последња колона у Табели I приказује недостајуће капацитете које би требало изградити до 2050. године, тј. представља разлику између глобално инсталираног капацитета 2050. и глобално инсталираног капацитета 2022. Број јединица које ће морати да се произведу до 2050. већи је од приказаног због потребе да се замене многи постојећи извори који ће у међувремену доћи до краја свог животног века. Овај додатак се не узима у обзир у каснијим прорачунима, тако да све процене потребних количина критичних минерала које ће уследити у наредним разматрањима треба сматрати доњом границом.

ТАБЕЛА I: ГОДИШЊА ПРОИЗВОДЊА ЕНЕРГИЈЕ И ИНСТАЛИСАНА СНАГА СОЛАРНИХ И ВЕТРОЕЛЕКТРАНА У ПЕРИОДУ 2022 - 2025.

| | Годишња производња електричне енергије [TWh] | | | Инсталисана снага [GW] | | | RESe in 2050 = | RESe in 2050/ | RESt | Недостајући капацитети |
|---------|--|-------|-------|------------------------|------|-------|-----------------|---------------|--------|------------------------|
| | 2022 | 2030 | 2050 | 2022 | 2030 | 2050 | =Wind(e)+Sun(e) | Удео у We | укупно | 2022-2050 |
| Wind(e) | 2125 | 7070 | 23442 | 933 | 3104 | 10292 | 54679 | 0.7116 | 67791 | 9359 GW |
| Sun(e) | 1291 | 8177 | 31237 | 1134 | 7180 | 27430 | | | | 26296 GW |
| We | 29033 | 38207 | 76838 | | | | | | | |

Поред декарбонизације у енергетском сектору, планира се и замена возила која покреће мотором са унутрашњим сагоревањем (СУС) батеријским електричним возилима. Глобални удео електричних возила достигао је 3%, што одговара броју од око 40 милиона. Од приближно 82 милиона аутомобила који се продају годишње, око 8% су електрични аутомобили на батерије, око 16% су хибридни аутомобили, док око 76% аутомобила има СУС мотор. Замена свих постојећих аутомобила са СУС мотором електричним возилима на батерије (БЕВ) захтевала би производњу преко 1,4 милијарде (1.4e9) БЕВ. Кључни материјали потребни за израду једног БЕВ су добијени из [14] и наведени у табели IIА. Аутомобили са СУС моторима захтевају знатно мање количине кључних минерала. Међу критичним минералима наведеним у Табели IIА, потребно им је само 12 кг бакра и око 1 кг мангана. Подаци у Табели IIБ добијени су на другачији начин, сабирањем критичних минерала неопходних за производњу батерије за електрични аутомобил [15], и додавањем критичних материјала који се користе у остатку возила и у електромотору. За електромотор је потребно око 12 кг бакра и 2 кг мангана, а за остатак возила око 16 кг бакра и 10 кг мангана. Уз мале разлике, међу приказаним табелама постоји добро слагање.

ТАБЕЛА IIА: КРИТИЧНИ МИНЕРАЛИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЈЕДНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ АУТОМОБИЛА [14]

| Cu | Li | Ni | Mn | Co | Graphite | Rare Earths (укупно) | Неодимијум |
|-------|--------|---------|-------|---------|----------|----------------------|------------|
| 53 kg | 9.1 kg | 40.1 kg | 24 kg | 12.8 kg | 66.7 kg | 1.5 kg | 0.5 kg |

ТАБЕЛА IIВ: КРИТИЧНИ МИНЕРАЛИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ ЈЕДНОГ ЕЛЕКТРИЧНОГ АУТОМОБИЛА [15]

| Cu (батерија) | Cu (остатак возила) | Li (батерија) | Ni (батерија) | Mn (батерија) | Mn (укупно) | Co (батерија) | Графит (батерија) | Неодимијум (укупно) |
|---------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------|
| 25 kg | 53 kg | 9 | 39 kg | 12 kg | 24 kg | 14 kg | 67 kg | 0.5 kg |

Према подацима из радова [14] и [15], кључни минерали потребни за градњу ветроелектрана и соларних електрана дати су у Табели III. Процене за првих седам минерала преузете су из публикације IEA [14], док је количина неодимијума добијена усредњавањем података о најновијим решењима са смањеном количином Nd. Услед преузимања података из различитих извора, однос потребне количине Nd и укупне количине свих ретких земаља, дат у Табели III, разликује се од односа који је уобичајен за сталне магнете. Наиме, у напредним пројектима ветротурбина количина мешавине ретких земаља мања је од 243 кг/МВ. Важно је приметити да многе старије копнене ветротурбине користе механички преносник и двострано напајане асинхроне машине, које не користе сталне магнете, и зато се подаци за ретке земље у Табели III не односе на њих.

ТАБЕЛА III: КРИТИЧНИ МИНЕРАЛИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ СОЛАРНИХ И ВЕТРОЕЛЕКТРАНА ИЗРАЖЕНИ У [КГ/MW]

| | Cu | Ni | Mn | Cr | Mo | Zn | Rare Earths (укупно) | Неодимијум (*) |
|--------------|------|------|---------|-----|-----|------|-------------------------|-------------------|
| Ветар, море | 7852 | 296 | 741 | 518 | 148 | 5407 | 243 | 50 |
| Ветар, копно | 2889 | 444 | 741 | 518 | 111 | 5407 | 243 (***) | 50 |
| | Cu | Si | Ag (**) | | | | | |
| Соларне ел. | 2814 | 3926 | 40 | | | | | |

Подаци преузети из [14] и релевантних референци. (*) Количина Nd је израчуната као доња просечна вредност најновијих инсталација и није у очекиваној пропорцији са подацима о ретким земљама. (**) Количина Ag се израчунава као доња просечна вредност најновијих инсталација, узимајући у обзир најскорије уштеде у употреби сребра у фотонапонским системима. (***) Старије ветротурбине на копну користе преносник и двоструко напајане асинхроне машине које не користе сталне магнете.

Према расположивим подацима [2], електрификација ће до 2030. године увећати потражњу за кључним минералима од 2 до 7 пута. Очекује се да ће се годишња потражња за баком за потребе електрификације увећати са 5,8 Mt на 12,2 Mt, у великом делу за проширење преносних и дистрибутивних мрежа. Годишња потражња силицијума велике чистоће ће бити увећана са 0,8 Mt на 2 Mt, углавном за соларне панеле [2]. Захваљујући скорашњим унапређењима, количина сребра која се користи у соларним панелима смањена је на мање од 8 гр/м², тако да градња соларне електране снаге 1 GW више не тражи 80 t сребра већ само 40 t сребра. Све већи удео соларних и ветроелектрана ствара потребу за складиштењем енергије повезаном са мрежом. Енергија ветра и сунца се не могу контролисати по вољи, и стога вишак енергије мора да се складишти и користи у интервалима без ветра и сунца. Један од система за складиштење који се промовише у оквиру зелене агенде су мрежна батеријска складишта, премда постоје и друга решења као што су реверзибилне хидроелектране, складишта са компримованим ваздухом, технологије складиштења топлоте и друге. Ради процене потребне количине минерала, неопходно је проценити укупну количину складишта у мрежи за којим ће бити потребе до 2050. године. У електроенергетском систему са укупном снагом извора p_{SRC} , укупним оптерећењем p_{LOAD} и са снагом p_{INTER} која долази преко интерконекија са суседним системима, снага размене енергије са складиштем p_{STOR} дата је једначином (1), и она представља први извод ускладиштене енергије W_{STOR} . Снага p_{SRC} одговара укупној снази контролисане и неконтролисане производње (2). За потребе овог прорачуна, тренутна снага $p_{SRC}(t)$ је представљена у поједностављеном облику, као збир 7 група које се разликују по управљивости, вршној снази, укупној годишњој енергији, зависности од временских услова, динамици и карактеристичним временским константама. Седам компоненти у једначини (3) одговарају тренутној снази базних извора (p_{BASE}), електрана на ветар (p_{WIND}), соларних електрана (p_{SUN}), проточних хидроелектрана (p_{HE_ROR}), бранских хидроелектрана (p_{HE_DAM}), гасних електрана са комбинованим циклусом и когенерацијом (p_{GASC}), и гасне електране отвореног циклуса (p_{GASO}). Снага p_{LOAD} (3) одговара укупној снази контролисане и неконтролисане потрошње. У прорачуну се полази од претпоставке да је део оптерећења $p_{CONT}(t)$ флексибилан, и моделира се као потрошња енергије коју је могуће планирати, њоме управљати, повећати је, смањити или померити у времену ако за тиме постоји потреба. Захваљујући управљивости (флексибилности) оптерећења могуће је смањити неопходни капацитет складишта. У оквиру прорачуна уведена је претпоставка да ће до 2050. године бити достигнути највиши до сада постављени циљеви флексибилности терета, било на сатној,

дневној, недељној или сезонској скали. Такође се претпоставља да снага интерконекција p_{INTER} није ограничена, другим речима, да ће по потреби бити изграђене све интерконекције како снага размене не би била ограничена. Другим речима, претпоставља се да ће у свим случајевима где у исто време постоји вишак у једном систему и дефицит у другом систему бити обављена размена електричне енергије ограничена једино техничком остваривошћу и економском исплативошћу преноса на релевантним растојањима. По природи промена у производњи и потрошњи, размене у правцу исток-запад обављају се првенствено на дневном нивоу, док размене у правцу север-југ имају и сезонску компоненту.

Укупан прорачун минималних складишних капацитета спроведен је сагледавајући период од годину дана и усвајајући резолуцију на временској скали од 10 минута, чиме се годишња промена сваке од поменутих величина своди на вектор од 52560 вредности. Кроз итеративни, самоприлагодиви процес оптимизације одређују се вектори тренутне снаге управљивих извора (p_{BASE} , p_{GASO} , p_{GASC} , p_{HE_ROR} и p_{HE_DAM}) који су технички, економски и логистички изводљиви, као и вектор промена у управљивом делу оптерећења $p_{CONT}(t)$. Критеријум оптимизације је добијање минималног потребног капацитета складиштења енергије, односно минималне разлике између екстремних вредности резултујућег вектора $W_{STOR}(t)$ у једначини (4). Треба напоменути да је управљање хидроелектранама ограничено и условљено дотоцима воде у акумулациона језера, док се за базне изворе морају планирати и спроводити периодични ремонти. Испоставља се да је рад гасних електрана од велике помоћи у смањењу тражених капацитета складишта, али се мора уважити околност да су укупна инсталисана снага гасних електрана као и расположива количина гаса ограничени. Прорачун подразумева да ће производња соларних и ветроелектрана, коју мрежа у датом тренутку не може преузети, бити складиштена локално, у мањим локалним батеријским складиштима уз саму електрану. Подразумева се да су поменута локална складишта убројана у коначан исход, тј. укупни тражени капацитет складишта. Рачуница је заснована на наизглед оптимистичној, али у добром делу остваривој претпоставци да ће све промене енергије ветра и сунца, промене у потрошњи енергије и промене прилива хидроелектрана за посматрану годину бити познате унапред, на самом почетку године. Ова претпоставка значајно скраћује сразмерно дуго време потребно за проналажење оптималних вектора коришћењем савремених Матлаб алата, али даје мању процену складишта, што значи да добијене исходе треба схватити као доњу границу.

$$p_{STOR}(t) = \frac{dW_{STOR}(t)}{dt} = p_{SRC}(t) - p_{LOAD}(t) + p_{INTER}(t). \quad (1)$$

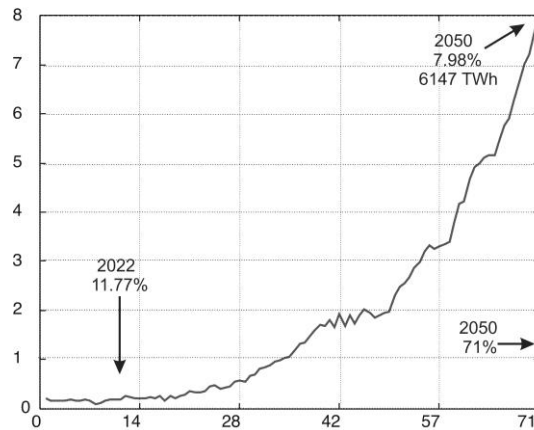
$$p_{SRC}(t) = p_{BASE}(t) + p_{WIND}(t) + p_{SUN}(t) + p_{HE_ROR}(t) + p_{HE_DAM}(t) + p_{GASO}(t) + p_{GASC}(t). \quad (2)$$

$$p_{LOAD}(t) = p_{NONC}(t) + p_{CONT}(t). \quad (3)$$

$$W_{STOR}(t) = \int p_{STOR}(t) \cdot dt = \int (p_{SRC}(t) - p_{LOAD}(t) + p_{INTER}(t)) \cdot dt. \quad (4)$$

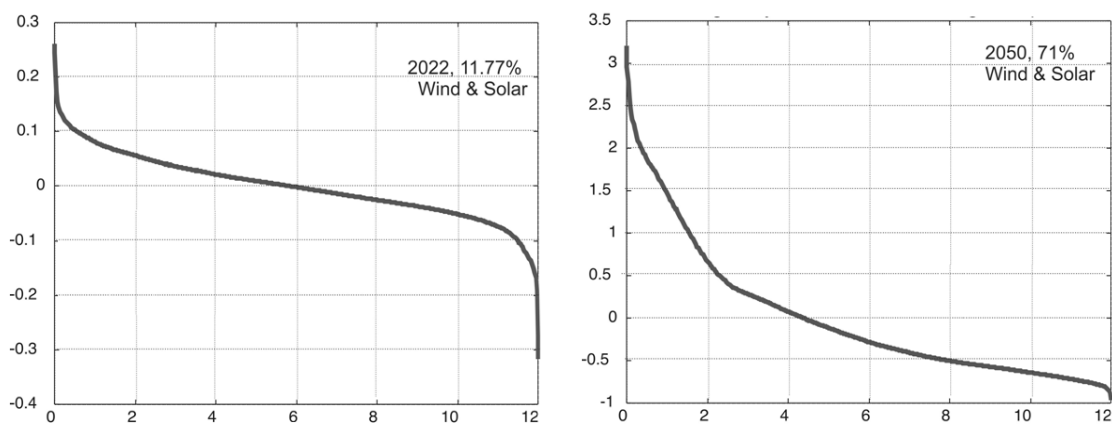
Резултати прорачуна дају годишњу промену $p_{STOR}(t)$ и $W_{STOR}(t)$ у случају оптималног управљања управљивим изворима и управљивим оптерећењем. На основу разлагања вектора $p_{STOR}(t)$ на временске фракције, могуће је одредити технологије складишта које су примерене захтевима, и за сваку од њих одредити тражену снагу и капацитет. За сваку од технологија складиштења постоје два основна параметра која их дефинишу, а то су капацитет складиштења (тј. максимална енергија која се може ускладиштити у њима) и снага складиштења (тј.

максимална брзина промене наведене енергије). Зависност укупног потребног складишног капацитета од удела соларних и ветроелектрана приказана је на Сл. 1. Дисконтинуални карактер приказане криве произилази из чињенице да она није приказ аналитичког израза, већ геометријско место тачака добијених засебном процедуром оптимизације за сваку од датих вредности удела енергије ветра и сунца, што је дато на апсциси. Оптимизација укључује променљиве бинарне природе као и променљиве са дисконтинуалним променама. За удео ветроелектрана и соларних електрана планираних за 2050. годину [2], у сценарију са нултом нето емисијом, и за годишњу производњу електричне енергије каква се предвиђа за 2050. годину, укупни потребни капацитет складиштења премашује 6000 TWh, што износи око 8% глобалне годишње производње електричне енергије.



Сл. 1: Удео укупних капацитета за складиштење електричне енергије неопходан за стабилан рад током 2050. године изражен у процентима укупне глобалне производње електричне енергије за исту годину. На ординати су дати проценти реченог удела, док је на апсцији збирни удео соларних и ветроелектрана у укупној годишњој производњи електричне енергије.

Важни закључци о најпогоднијим технологијама складиштења могу се добити полазећи од вектора израчунате снаге складиштења $p_{STOR}(t)$ за период од око годину дана, чије 10-минутне узорке треба распоредити у опадајућим амплитудама. Одговарајући резултати су приказани на Сл. 2, за 2022. (лево) и 2050. (десно). Максимална снага потребних складишта у 2050. години биће 3,2 пута већа од просечне годишње снаге у електричној мрежи. Може се видети да ће интервали са великом снагом пуњења или великом снагом пражњења бити релативно кратки, што сугерише да се такве потребе могу задовољити коришћењем батеријских складишта.



Сл. 2: Дијаграми приказују снагу pSTOR(t), уређени по вредности елемената вектора, тако да следе најпре веће а потом мање вредности. Приказани подаци су сведени на средњу снагу потрошње током једне године. Током 2050, сценарио нултих нето емисија предвиђа годишњу производњу електричне енергије од 77 PWh, што одговара средњој снази од 8790 GW. Дијаграм на левој страни приказује садашње стање, док дијаграм на десној страни приказује стање за 2050. годину.

У оквиру претходног поглавља дата је процена обима производње соларних електрана, ветроелектрана, електричних возила и батерија до 2050. године, када би требало достићи нулте нето емисије CO₂ (ННЕ). На основу такве процене дат је прорачун неопходних количина критичних минерала. Ради оцене остваривости поменуте производње, потребно је сагледати доступност Cu, Ni, Mn, Cr, Mo, Zn, ретких земаља, Nd, Si, Ag, Li, Co, графита и других критичних минерала.

3. Доступност минерала и могућност њиховог прибављања

Удео већине критичних минерала у Земљиној кори је значајно већи него њихов удео у морској води. По дебљини и садржају, нарочит значај за прибављање минерала има део Земљине коре који се налази испод континената. Минерали постоје и у магми, али је за већину од њих концентрација превише прениска да би оправдала експлоатацију уз коришћење расположивих технологија. Особито вредан и подробен увид у доступност минерала у континенталном делу Земљине коре дат је у прегледу [16]. У дубини до 10-50 км, заступљено је најмање 88 хемијских елемената, међу којима неки само у траговима. Само 12 елемената је присутно са масеним уделом већим од 0,1%, а то су O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, H, Mn и фосфор. Ови елементи се сматрају геохемијски издашним и широко се користи у традиционалним индустријама. Упркос опадању концентрације у рудним налазиштима, геохемијски издашни минерали остаће лако доступни и не сагледавају се велике технолошке баријере у њиховом прибављању.

Преостали елементи (Zn, Cr, Ni, Cu, Co, U, Sn, Ag, Au...) сматрају се геохемијски ретким и критичним, али се многи од њих ипак користе у уређајима и системима нискоугљеничних технологија. Експлоатација критичних минерала додатно је отежана доминантним начином на који су они присутни у Земљиној кори. Веома мале количине су заступљене у облику једињења и минерала која твори критични елемент, већ је највећи део његовог садржаја у Земљиној кори заступљен у облику насумично распоређених атома [16] који су путем изоморфне супституције заступљени у другим минералима, где један атом критичног елемента замењује, под одређеним условима, један атом издашно заступљеног елемента, при чему је концентрација критичног елемента у описаној структури значајно (за неколико редова величине) нижа од концентрације која би оправдала експлоатацију. Веома мали део од укупне количине критичног елемента налази се у геолошки ограниченим телима са већом концентрацијом. Ова тела су резултат неких прилично ретких околности у којима се критични минерал јавља у много већим концентрацијама него што је то случај код изоморфне супституције. Пример је олово, које представља 0,001% континенталне Земљине коре, а које се добија из рудних тела у којима је заступљено са најмање 2%. Доказане резерве олова у којима његова концентрација оправдава експлоатацију су више од 100 000 пута мање од укупне количине олова у Земљиној кори.

Када геолошки ограничена тела са већим концентрацијама буду исцрпљена, остатак критичних минерала у Земљиној кори биће заступљен у форми изоморфних атомских

супституција, у концентрацијама толико ниским да расположиве технологије не нуде могућност експлоатације. За сада не постоје ни идејна решења за експлоатацију која би могла савладати логистичке и енергетске препреке. Када смањење концентрације траженог елемента у рудном телу опадне испод нивоа који се назива минералозна баријера [16, Сл. 10.5], руда није погодна за експлоатацију због логистичких препрека, технолошких проблема и значајног повећања енергетског интензитета, односно, знатно већег утрошка енергије на екстракцију, концентрацију, процес рафинације и друге. Не рачунајући посебне случајеве (Au, U, Ga...), минералозна баријера се налази негде између 0,01 и 0,1%. У случају критичних минерала, од интереса је проценити њихов удео доступан у концентрацијама вишим од минералозна баријере. У извештају [17], за бакар се наводи да је минералозна баријера 0,1%, и тврди се да се само 0,01% од укупне количине бакра у континенталној кори налази у рудним телима са концентрацијама већим од 0,1%. За већину критичних минерала, удео њиховог садржаја у Земљиној кори који премашује минералозна баријеру креће се од 0,001% до 0,01%. Када се преостале резерве умање, и када се достигне минералозна баријера, експлоатација критичног минерала у пракси више није остварива. Наиме, претходно коришћени поступци концентрације, рафинације и издвајања више се не могу користити, док би утрошак енергије код примене алтернативних процеса могао бити 100 до 1000 пута већи [16]. Наведени разлози указују да експлоатација минерала из налазишта са концентрацијама испод минералозна баријере није вероватна у блиској будућности. Видљив пад концентрације се већ бележи за Au, Ag и неколико других метала. Преглед критичних минерала дат је у табели IV, превасходно заснован на изворима [9], [10], [14], [15], [16], [17] и [18]. Табела укључује релевантне ресурсе, резерве, годишњу потрошњу и енергетски интензитет.

ТАБЕЛА IV: ПРЕГЛЕД КРИТИЧНИХ МИНЕРАЛА: ГОДИШЊА ПОТРОШЊА, РЕЗЕРВЕ, РЕСУРСИ И ЕНЕРГЕТСКИ ИНТЕНЗИТЕТ

| Минерал (име) | Ресурси [Mt] | Резерве [Mt] | Потрошња [Mt/year] | Енергија [MWh/t] | W1Y [TWh] | W1Y/We | W1Y/Wprim |
|------------------|------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|-----------|----------|-----------|
| Бакар | 5600 | 1000 | 28 | 10.2 | 285.6 | 0.009837 | 0.001561 |
| Никл | 350 | 130 | 3.6 | 48 | 172.8 | 0.005952 | 0.000944 |
| Манган | ∞ | 1900 | 20 | 8 | 160 | 0.005511 | 0.000874 |
| Графит | 800 | 280 | 1.6 | 31 | 49.6 | 0.001708 | 0.000271 |
| Неодимијум | 32 | 8 | 0.057 | 16 | 0.912 | 3.14E-05 | 4.98E-06 |
| Хром | 12000 | 560 | 41 | 20 | 820 | 0.028244 | 0.004481 |
| Молибден | 25.40 | 15 | 0.284 | 20 | 5.68 | 0.000196 | 3.1E-05 |
| Цинк | 1900 | 220 | 13 | 14.4 | 187.2 | 0.006448 | 0.001023 |
| Сребро | 1.74 | 0.61 | 0.026 | 416 | 10.816 | 0.000373 | 5.91E-05 |
| Литијум | 105 | 28 | 0.18 | × | × | × | × |
| Li2CO3 | Из сподумена | | 0.92 | 60.5 | 55.66 | 0.001917 | 0.000304 |
| Li2CO3 | Из сланих језера | | 0.92 | 9.1 | 8.372 | 0.000288 | 4.57E-05 |
| Кобалт | 120 | 11 | 0.23 | 245 | 56.35 | 0.001941 | 0.000308 |
| Rare Earth | 478 | 110 | 0.164 | 16 | 2.624 | 9.04E-05 | 1.43E-05 |
| Силицијум | ∞ | ∞ | 9 | 410 | 3690 | 0.127097 | 0.020164 |

Извесна несталност података о процењеним резервама у расположивој литератури произилази из њихове дефиниције, повезане са могућношћу економски исплативе експлоатације у датом тренутку или у блиској будућности, тако да велики утицај на процену резерви имају исходи геолошких истраживања, променљивост економских фактора, као и инхерентна варијабилност технолошких, правних и тржишних услова. Сличне околности утичу

и на процену ресурса. Пошто се ресурси дефинишу као концентрације минерала у земљиној кори које имају разумне изгледе за евентуалну економску експлоатацију у даљој будућности, они су уско повезани са минералошком баријером, са претпоставком у максималној прихватљивој дубини рудних тела, са исходима нових истраживања, пројектованим променама концентрације минерала у налазиштима, као и са максималном прихватљивом вредношћу енергетског интензитета. У свим случајевима где за предметне минерале постоје различите процене, у Табелу IV унете се веће вредности, па је тако за резерве бакра унето 1000 Mt уместо често цитираних 886 Mt, за ресурсе сребра унето је 1,74 Mt уместо 1,3 Mt [16], и слично.

У колони 4 Табеле IV, тренутна годишња потрошња изражена је у [Mt/год.]. На основу расположивих података о енергетском интензитету у [MWh/t] израчунава се енергија W_{1Y} , која представља укупни износ енергије утрошен да би се током једне године произвела тражена количина предметног минерала. У наредним колонама приказан је однос енергије W_{1Y} и укупне глобалне годишње производње електричне енергије, а потом и однос енергије W_{1Y} и укупне глобалне примарне енергије. Према приказаним подацима, енергија потребна за производњу литијум карбоната из сподумена је преко шест пута већа од енергије потребне за производњу литијум карбоната из воде сланих језера (брина) [19]. Енергија W_{1Y} потребна за добијање литијум карбоната израчуната је на два начина, најпре уз претпоставку да се сав литијум добија из сподумена, а потом уз претпоставку да се сав литијум добија из сланих вода. Подаци о резервама и ресурсима дати су за садржај литијума (метала), док су прорачуни потрошње енергије засновани на еквивалентном литијум карбонату (масени удео Li у Li_2CO_3 је близак 0.1878).

Један од начина да се прибаве критични минерали је њихово рециклирање из уређаја који су достигли крај свог животног века [14]. Удео рециклираних минерала у укупној потрошњи зависи од логистичких проблема у прикупљању и складиштењу дотрајалих уређаја, од енергије потребне за рециклирање и од тржишне цене рециклираних минерала. Стопа рециклирања злата, платине и сребра прелази 80%, 60% и 50%, респективно. Стопе рециклирања бакра и алуминијума прелазе 40%, док Cr, Zn и Co имају стопе рециклирања веће од 30% [14]. У већини случајева рециклирање захтева утрошак значајних количина енергије, пре свега у случајевима када уређаји који се рециклирају нису пројектовани тако да се рециклирање олакша и поједностави. Рециклирање може ублажити проблеме прибављања критичних минерала али их не може решити [2], [13], [14]. Према предвиђањима објављеним у [14] за 2040. годину, рециклирање и поновна употреба батерија у електричним возилима и мрежним складиштима могла би смањити примарне потребе за критичним минералима за свега 12%, док би свеукупан удео рециклираних минерала могао да достигне 8%, што је веома скроман резултат. Тренутна пракса пројектовања и оптимизације кључних уређаја такође има негативан утицај на потенцијал рециклаже минерала. На пример, соларни панели су дизајнирани тако да постигну већу ефикасност, већу робусност, издржљивост и нижу цену. Потреба за рециклирањем коришћених соларних панела није узета у обзир приликом пројектовања, што у пракси значајно смањује могућност да се њихово рециклирање обави уз разуман, прихватљив утрошак енергије. Рециклирање литијумским батерија није заживело због њихове склоности ка самозапаљењу, што ствара непремостиве проблеме у прикупљању и складиштењу дотрајалих батерија. На дужи рок, требало би усмерити развојне напоре ка технологијама и уређајима који користе минерале издашно заступљене у континенталној кори.

4. Критични минерали неопходни за достизање ННЕ¹ до 2050.

За достизање нултих нето емисија до 2050. године, потребно је остварити кумулативну производњу соларних електрана, ветроелектрана, електричних аутомобила и батерија која је приказана у другом поглављу. На основу података у поглављима 2 и 3, у овом поглављу дата је процена укупних количина критичних минерала које треба прибавити до 2050. године. Укупне количине критичних минерала потребне за производњу електричних возила приказане су у Табели 5 и Табели 6. Укупне количине критичних минерала потребне за производњу батерија за складиштење енергије приказане су у Табели 7. Укупне количине критичних минерала потребне за производњу соларних електрана и ветроелектрана приказане су у Табели 8 и Табели 9, респективно.

Око 97% постојећих возила и даље има моторе са унутрашњим сагоревањем (СУС), који користе фосилна горива. У оквиру декарбонизације саобраћаја планирана је њихова замена електричним возилима (ЕВ) на батерије. Током пуњења батерије преузима се електрична енергија, и зато коришћење ЕВ своди удео фосилних горива у саобраћају на меру у којој се она користе у производњи електричне енергије. Након замене свих аутомобила са СУС мотором ЕВ на батерије, производња ЕВ ће бити настављена ради замене дотрајалих возила. Количина кључних минерала потребних за производњу једног типичног ЕВ на батерије дата је у Табели II. На основу процене да у свету постоји око 1,47 милијарди аутомобила, могуће је утврдити количину минерала која је потребна за „прву генерацију“ ЕВ на батерије. Описани прорачун не узима у обзир доцније потребе за минералима ради замене дотрајалих ЕВ и њихових батерија. Резултати прорачуна дати су у Табели V. Укупне потребне количине литијума, кобалта, графита и ретких земаља премашују њихову тренутну годишњу производњу од 38 до 81 пута, док је потребна количина кобалта 1,71 пута већа од расположивих глобалних резерви.

ТАБЕЛА V: КРИТИЧНИ МИНЕРАЛИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ БАТЕРИЈСКИХ ВОЗИЛА ДО 2050.

| Тражени минерал | Количина m_x [Mt] | Удео m_x у резервама | Однос m_x и год. потрошње | Годишњи утршак енергије у [TWh] за прибављање m_x |
|-----------------|---------------------|------------------------|-----------------------------|---|
| Li | 13.38 | 0.478 | 74.317 | 466 |
| Ni | 58.95 | 0.453 | 16.374 | 2829 |
| Co | 18.82 | 1.711 | 81.809 | 4610 |
| Mn | 35.28 | 0.019 | 1.764 | 282 |
| Cu | 77.91 | 0.078 | 2.783 | 795 |
| Графит | 98.05 | 0.350 | 61.281 | 3040 |
| Rare Earths | 2.21 | 0.020 | 38.684 | 35 |

Прорачун количине минерала неопходних за производњу ЕВ до 2050. године може се проценити и на другачији начин, полазећи од специфичних количина критичних минерала који се користе за градњу батерија, изражених у [kg/kWh]. На основу података публикованих у

¹ Нулте нето емисије CO₂

документима [2], [13], [14] и [15], извршена је процена специфичних количина критичних минерала које су приказане у другој колони Табеле VI. На коначне исходе утиче и процена просечног капацитета батерија које ће бити коришћене у ЕВ до 2050. године. Полазећи од просечне потрошње ЕВ од од 1/6 [kWh/km] и од очекиване аутономије од 300 km, једном ЕВ би била потребна батерија капацитета 50 kWh. На основу дате процене капацитета и укупног броја тражених ЕВ, могуће је израчунати укупну количину потребних минерала у [Mt]. Одговарајући подаци дати су у трећој колони Табеле VI.

Прорачун узима у обзир „прву генерацију“ електричних возила на батерије, тако да се овде не узима у обзир потреба за заменом ЕВ којима је истекао век трајања. Подаци у прве 3 колоне табеле VI узимају у обзир градњу батерија, али не узимају у обзир количине бакра и мангана потребне за електромотор и остатак возила. Ове количине су приближно 28 kg бакра и 12 kg мангана за свако ЕВ. У четвртој колони дате су укупне количине, уз додаток 41,1 Mt бакра и 17,64 Mt мангана за градњу мотора и остатка возила. Подаци у последње 3 колоне табеле VI приказују релативни удео минерала потребних за градњу батерије (m_x) у резервама и у годишњој потрошњи, и дају податак о укупном годишњем утрошку енергије за прибављање исказаних износа критичних минерала. Потребне количине литијума, кобалта и графита су више од 40 пута веће од актуелне годишње производње, док је количина кобалта знатно већа од расположивих резерви. Основне вредности и закључци су слични као и у случају Табеле V. Ради подробније процене, потребно је узети у обзир утицај значајно повећане потражње на пад концентрације минерала у рудним телима, екстраполиране ефекте овог пада као и последично повећање енергије потребне за добијање минерала, што овом приликом није учињено.

ТАБЕЛА VI: КРИТИЧНИ МИНЕРАЛИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ БАТЕРИЈСКИХ ВОЗИЛА ДО 2050.

| Тражени минерал | Специфична количина [kg/kWh] | Количина m_x [Mt] за израду батерија | Количина m_y [Mt] за цело возило | Удео m_x у резервама | Однос m_x и год. потрошње | Годишњи утрошак енергије у [TWh] за прибављање m_x |
|-----------------|------------------------------|--|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|--|
| Li | 0.1 | 7.35 | 7.35 | 0.263 | 40.833 | 256 |
| Ni | 1.2 | 88.20 | 88.20 | 0.678 | 24.500 | 4234 |
| Co | 0.15 | 11.03 | 11.03 | 1.002 | 47.935 | 2701 |
| Mn | 0.15 | 11.03 | 28.67 | 0.006 | 0.551 | 88 |
| Cu | 1 | 73.50 | 114.6 | 0.074 | 2.625 | 750 |
| Graphite | 1 | 73.50 | 73.50 | 0.263 | 45.938 | 2279 |
| Nd | 0.5 kg по возилу | | 0.74 | 0.092 | 12.895 | 11.76 |

Поред коришћења у аутомобилима, батерије се користе и у градњи мрежних складишта енергије, која су неопходна за интеграцију соларних и ветроелектрана. Потребно је проценити количину критичних материјала потребних за изградњу складишта батерија повезаних на мрежу, и сабрати такве процене са процењеним количинама критичних минерала потребних за градњу батерија за ЕВ (Табела VI). Поред батерија, мрежна складишта укључују и технологије складиштења са компримованим ваздухом, реверзибилне хидроелектране, складишта топлотне енергије и друге технологије. Према процени добијеној за 2050. годину, приказаној на Сл. 1 и 2, укупни, кумулативни капацитет и снага свих ангажованих технологија мрежних складишта достижу 6147 TWh и $3,2 * 8790 = 28128$ GW, респективно. На батеријска складишта се односи само један део ових износа. Батерије су нарочито погодне за краткотрајно складиштење, где је тренутна снага $p_{STOR}(t)$ значајна, што укључује знатан део потреба за вршном снагом приказан у левом и десном делу дијаграма на Сл. 2. Укупни капацитет (тј. енергија) батеријских складишта

је релативно мали у односу на друге технологије, много мањи од укупног траженог капацитета складишта. Према је снага батеријских складишта сразмерно велика, најчешће трајање процеса складиштења или преузимања енергије из складишта износи свега 2-4 сата. У изузетним случајевима, као што је Индија, где соларна енергија даје значајан допринос током дана, батерије би морале да издрже време складиштења (пуњења) или преузимања енергије (пражњења) и до 10 сати [13]. Да би се повећала трајност батерија и избегла пречеста замена модула или ћелија, корисно је уградити батерије нешто већег капацитета него што је то неопходно, и на тај начин смањити релативне промене у стању батерија. У пракси се добијају задовољавајући резултати уколико се инсталирају батерије са називним капацитетом који је од 1,5 до 2 пута већи од очекиване варијације оптерећења у нормалним условима рада.

У оквиру жељених промена у електроенергетици [2], [13], планирано је да батерије обезбеде до 1/3 укупне краткорочне флексибилности електричне мреже. У погледу планираних батеријских складишта која ће бити потребна у 2050. години, прогнозе се непрекидно коригују навише. Према публикацијама World Energy Outlook [2], [13] за 2022, 2023. и 2024. годину, у којима се може наћи потребна снага батеријских складишта у 2050. години, процене дате 2022. године износиле 3860 GW, да би 2023. године биле кориговане на 4199 GW, док су 2024. године достигле 5512 GW [13]. Постојеће прогнозе [2], [4], [13] временом постају веродостојније тако што се, поред сагледавања економских и финансијских аспеката, све више уважавају закони физике, техничка ограничења, као и неизбежно и значајно увећање производње електричне енергије, подстакнуто потребом да се надомести енергија која се до сада добијала из фосилних горива, као и да се обезбеди напајање складишта података, рачунара, рачунарских мрежа и других направа за обраду, складиштење и размену података. Уз уважавање кључних консидерација [2], [13], разумно је претпоставити да ће батерије обезбедити само 1/3 вршне снаге потребне за интеграцију ветроелектрана и соларних електрана 2050. године (Сл. 2). Уз претпоставку да њихово номинално време пражњења неће премашити осам сати, укупни капацитет мрежних батеријских складишта ће 2050. године достићи 75 TWh. Подаци о специфичним количинама минерала потребних за производњу таквих складишта узети су из друге колоне табеле VI, где су изражени у [kg/kWh]. Укупне количине критичних минерала потребних за израду назначених капацитета мрежних батеријских складишта дати су у трећој колони табеле VII, изражене у [Mt].

ТАБЕЛА VII: КРИТИЧНИ МИНЕРАЛИ ПОТРЕБНИ ЗА ПРОИЗВОДЊУ МРЕЖНИХ И АУТОМОБИЛСКИХ БАТЕРИЈА ДО 2050

| Тражени минерал | Специфична количина [kg/kWh] | За потребе мрежних батерија [Mt] | За потребе батерија у ЕВ [Mt] | Укупна количина (мрежне + ЕВ) m_x [Mt] | Удео m_x у резервама | Однос m_x и годишње потрошње | Годишњи утро- шак енергије [TWh] за прибављање m_x |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--|------------------------|--------------------------------|--|
| Li | 0.1 | 7.50 | 7.35 | 14.85 | 0.530 | 82.500 | 517 |
| Ni | 1.2 | 90.00 | 88.20 | 178.20 | 1.371 | 49.500 | 8554 |
| Co | 0.15 | 11.25 | 11.03 | 22.28 | 2.025 | 96.848 | 5457 |
| Mn | 0.15 | 11.25 | 11.03 | 22.28 | 0.012 | 1.114 | 178 |
| Cu | 1 | 75.00 | 73.50 | 148.50 | 0.149 | 5.304 | 1515 |
| Графит | 1 | 75.00 | 73.50 | 148.50 | 0.530 | 92.813 | 4604 |

Резултати приказани у Табели VII приказују укупне количине критичних минерала потребних за производњу батерија у мрежним складиштима и електричним аутомобилима до

2050. године, не укључујући при томе потребе замене дотрајалих јединица. Резултати сугеришу да потребне количине свих критичних минерала осим мангана премашују тренутну годишњу производњу за ред величине, а за неке минерале и до 96 пута. У случају никла и кобалта потребне количине су знатно веће од глобалних резерви. Пошто подаци у Табели VII представљају оптимистичку процену која не узима у обзир потребу замене истрошених ћелија и батерија, нити узима у обзир чињеницу да ће се садржај руде смањити, приказани подаци пружају основ да се закључи како назначени циљеви не могу бити остварени.

Преглед количина сребра, бакра и силицијума велике чистоће, потребних за производњу соларних панела до 2050. године дати су у Табели VIII. Према подацима датим у Табели I, достизање нултих нето емисија CO₂ до 2050. године захтева да укупна инсталисана снага соларних електрана на глобалном нивоу буде увећана за 26296 GW. Специфичне количине кључних минерала за изградњу соларних електрана дате су у Табели III, изражене у килограмима за сваки мегават инсталисане снаге, [kg/MW]. Укупна количина потребних материјала дата је у Табели VIII. Као и раније, приказани подаци не узимају у обзир потребу замене ислужених соларних панела. За планирану градњу соларних електрана укупна тражена количина сребра била би преко 40 пута већа од тренутне годишње потражње, што би премашило глобалне резерве сребра за више од 1,7 пута. Укупна енергија потребна за производњу назначене количине силицијума високе чистоће, подобног за градњу соларних панела, двоструко је већа од тренутне годишње глобалне потрошње електричне енергије.

ТАБЕЛА VIII: КОЛИЧИНЕ КЉУЧНИХ МИНЕРАЛА ЗА ПРОИЗВОДЊУ СОЛАРНИХ ПАНЕЛА

| Тражени минерал | Количина m_x [Mt] | Удео m_x у резервама | Однос m_x и годишње потрошње | Годишњи утршак енергије [TWh] за прибављање m_x |
|-----------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|---|
| Бакар | 74.00 | 0.074 | 2.643 | 754.8 |
| Силицијум | 103.24 | very low | very low | 42327 |
| Сребро | 1.05 | 1.724 | 40.456 | 437.6 |

Ради достизања нултих нето емисија CO₂ до 2050. године, важећи план (Табела I) предвиђа да се укупна инсталисана снага ветроелектрана увећа за 9359 GW. Специфичне количине кључних минерала за изградњу ветроелектрана дате су у Табели III и изражене у [kg/MW]. Укупна количина потребних материјала дата је у Табели IX. Прва два реда Табеле приказују потрошњу бакра, најпре за случај када би све нове инсталације биле на копну (on shore), а потом за случај када би све нове инсталације биле на мору (off shore). Тренутно је однос првих и других 12:1, али је планирано да се до 2050. године промени на око 2:1. Дакле, укупна потрошња бакра ће бити већа од приказане у првом реду, а мања него што је приказано у другом реду Табеле IX. Осим разлике у потрошњи ретких земаља, потрошња преосталих минерала за електране на копну и на мору није превише различита. Ретке земље и неодимијум користе се за градњу сталних магнета. Електричне машине које користе сталне магнете могу се, за исту примену, начинити лакшим од других машина. Електрични генератори са сталним магнетима омогућују да ветротурбине раде без преносника, а да тежина самог генератора не буде одвећ велика. Већа тежина генератора тражила би значајна ојачања носача и конструкције ветроелектране на мору, што намеће значајне трошкове и тешко решиве техничке проблеме, и зато пројекти савремених ветроелектрана на мору по правилу подразумевају утршак значајних количина сталних магнета и ретких земаља. У погледу ветроелектрана на копну, сразмерно

мања снага и мањи проблеми у градњи носача омогућују да електрични генератори буду традиционални двострано напајани индукциони генератори (DFIG - Doubly-fed induction generator) који не користе сталне магнете, и који се са турбином спрежу преко преносника. Стога треба напоменути да ће укупна потрошња ретких земаља и неодимијума у Табели IX заправо бити нижа него што је приказано, у мери у којој се задржавају турбине мање снаге са преносницима и DFIG.

ТАБЛЕ IX: КРИТИЧНИ МАТЕРИЈАЛИ ПОТРЕБНИ ЗА ГРАДЊУ ВЕТРОЕЛЕКТРАНА ДО 2050. ГОДИНЕ

| Тражени минерал | Специфична количина [kg/MW] | Количина m_x [Mt] | Удео m_x у резервама | Однос m_x и годишње потрошње | Годишњи утрошак енергије [TWh] за прибављање m_x |
|-----------------|-----------------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|--|
| Cu (on shore) | 2889 | 27.04 | 0.027 | 0.966 | 276 |
| Cu (off shore) | 7852 | 73.49 | 0.073 | 2.625 | 750 |
| Никл | 444 | 4.16 | 0.032 | 1.155 | 200 |
| Манган | 741 | 6.93 | 0.004 | 0.347 | 55 |
| Хром | 518 | 4.85 | 0.009 | 0.118 | 97 |
| Молибден | 111 | 1.04 | 0.069 | 3.661 | 21 |
| Цинк | 5407 | 50.61 | 0.230 | 3.893 | 729 |
| Rare Earths | 243 | 2.27 | 0.021 | 13.868 | 36 |
| Неодимијум | 50 | 0.47 | 0.058 | 8.210 | 7 |

За разлику од тешко остваривих количина минерала потребних за градњу соларних електрана, електричних возила и батерија (Табеле V-VIII), ситуација је нешто повољнија за ветроелектране. Потребне за молибденом и цинком су мање од четворогодишње тренутне производње, док је потрошња енергије приказана за прибављање минерала сасвим достижна. Потребне за ретким земљама су веома значајне и премашују њихову садашњу годишњу производњу за 13 пута. Ако се додају потребе за ретким земљама потребним за производњу електричних возила (Табела V), онда би укупне потребе достигле износ 52 пута већи од тренутне годишње производње. Недоступност ретких земаља представља уско грло које спречава значајније увећање производње електричних машина (мотора и генератора) са сталним магнетима, што доводи у питање планирану производњу ветроелектрана и електричних аутомобила. Тренутно се улажу значајни истраживачки напори у праву развоја електричних машина које не би користиле сталне магнете, и чија би тежина у датим применама била мања него што је сада.

Из приказаних резултата може се закључити да ће планирана производња кључних уређаја потребних за имплементацију зелене агенде бити суочена са веома озбиљним проблемима у добијању критичних минерала. Потребне за сребром и кобалтом знатно премашују расположиве светске резерве, док су потребе за осталим минералима и до 60-70 пута веће од тренутне годишње производње, што доводи у питање могућност њиховог прибављања због логистичких проблема, проблема са падом концентрације минерала у налазиштима, као и увећања утрошка енергије у процесима екстракције и рафинације. Током протеклих дванаест година, значајни напори су уложени у проучавање потрошње енергије у рударству и преради у функцији пада концентрације минерала у налазиштима [20]. Развијени модели [21], изводљива решења за одрживо управљање ресурсима [22] и процене енергетског интензитета критичних минерала [23] доказују да пад концентрације изазива значајно увећање енергетског интензитета

критичних минерала, што може да створи нерешиве проблеме у њиховом добијању у траженим количинама. Чини се да су тренутне праксе неодрживе, што би уређаје које данас називамо обновљивим учинило необновљивим и могло би нас навести да преусмеримо своја истраживања и развој нових технологија ка коришћењу геохемијски издешних минерала. У погледу критичних минерала, прелазни период би се могао премостити применом приступа предложеног у документу [24], где се предлаже да се критични минерали не продају већ изнајмљују, уз строге услове у погледу рециклирања.

5. Искуства земаља у којима се прибављају критични минерали

Услед значајно увећане потражње за критичним минералима ствара се потреба за отварањем великог броја нових рудника. Европска унија сагледава потребу за експлоатацијом минералних ресурса у земљама на које може остварити утицај, што укључује и земље које настоје да постану чланице Уније. Према се представници ЕУ начелно залажу за поштовање највиших стандарда заштите животне средине, представници великих рударских компанија се преваходно интересују за земље са неразвијеним институцијама система, са високим коруптивним потенцијалом, и са популацијом која не пружа значајан отпор високо профитабилном рударењу науштрб животне средине. Најновија законска регулатива у Србији ствара могућност отварања више од 40 рудника, углавном у областима са агилним сеоским становништвом, профитабилном пољопривредом и стратешким резервама воде. Постоји потреба да се проуче финансијка, еколошка и друга искуства становништва земаља из којих пристижу критични минерали. Од користи је и сагледавање механизма на који се обезбеђује сагласност званичника и локалне популације за отварање нових рудника који подразумевају градњу депонија и испуштање загађења у окружење. Ако постоји отпор рударењу, он може постепено минути, али може и јачати до нивоа који угрожава сигурност снабдевања минералима. Један од начина да се сагледају наведена питања је проучавање досадашњих искустава.

Расподела критичних минералних ресурса је веома неуједначена. Око 70% укупне глобалне потрошње кобалта снабдева се из Конга, док се око 3/4 литијума и ретких земаља налази у три земље које су најбогатије овим ресурсима. Кина прерађује око 35% никла, 54% литијума, 72% кобалта и 90% ретких земаља [2]. У Кини се производи око 79% светске производње опреме за соларне електране, 64% опреме за ветроелектране, 68% батерија, 33% електролизера и око 30% топлотних пумпи. Доминација Кине у области прибављања минералних сировина све више обухвата Африку и Јужну Америку, што отежава положај индустрије у другим земљама. Велики део минерала налази се у земљама трећег света као што су Боцвана, Гвинеја, Суринам, Конго, Замбија, Мали, Гвајана, Намибија, Перу, Киргистан и друге. Од велике је важности проучити приступ и начин на који Кина стабилно потискује компаније из других земаља и постепено преузима ресурсе у земљама трећег света. Постоје индиције да пословање других рударских компанија у земљама трећег света нуди локалном становништву знатно неповољне финансијске и еколошке услове. Иако је ове појаве тешко квантификовати, овај и наредни одељак представљају покушај да се наведена проблематика приближи и објасни.

Демократска Република Конго (ДРК) је главни глобални снабдевач кобалтом, као и врло значајан снабдевач багром. Упркос огромним природним ресурсима, ДРК је једна од најсиромашнијих земаља на свету. Врло мали БДП од 649 \$US по глави становника превасходно указује на вредност минерала који се износе из Конга, без опипљиве користи за становништво ДРК. Постоје индиције [25] да се за сакупљање и одвајање руде користи ручни рад људи, а врло често и деце, што незаштићене раднике доводи у контакт са токсичним материјама, излаже их опасностима од клизишта и одрона камења и изазива болест и губитак живота. Просечан животни век је у Конгу око 20 година краћи од светског просека, а око 30 година краћи него у Италији. Као главни проблем у одржавању поуздане експлоатације минералних ресурса у ДРК наводе се дезинтеграција националне економије, нефункционалан транспорт и недоступност електричне енергије [26]. Експанзија индустријских рудника кобалта и бакра у ДРК довела је до присилног иселјавања читавих заједница и тешких кршења људских права укључујући сексуалне нападе, паљевине и премлаћивања [27]. Стање у ДРК као и тамношњи приступ експлоатацији минералних ресурса не могу се сматрати поузданим нити одрживим на дужи рок.

Неопходно је проучити и разумети циљеве мултинационалних рударских компанија које долазе у земље трећег света да експлоатишу критичне минерале. Досадашња искуства показују да су рударске компаније заинтересоване за пословање у земљама са укореењеном корупцијом, нефункционалном демократијом и владајућим режимима који злоупотребљавају институције и не поштују раздвајање правосудне, извршне и законодавне власти [25], [26], [27]. Стабилне институције, функционална демократија и висок ниво заштите животне средине у великој мери спречавају јефтино рударење. Традиционално рударење из 19. века подразумева изградњу депонија јаловине и индустријског отпада, коришћење великих количина фосилних горива, недовољну електрификацију и праксу испуштања нечистих вода и гасова у животну средину. У већини случајева, рударство је много јефтиније у земљама у којима је успостављена аутократска власт које је лако мотивисати да прихвате рударење из 19. као и врло неповољне финансијске и еколошке исходе. Релативно скромни финансијски подстицаји и/или политичка подршка могу мотивисати аутократске лидере да склопе нетранспарентне уговоре и споразуме који су суштински неповољни за локално становништво. У коначним исходу, инвеститори спроводе експлоатацију минерала уз занемарљиву надокнаду, али уз темељну девастацију воде, земље, ваздуха и живог света. Нежељени ефекат оваквог приступа је отпор локалног становништва, што може довести до застоја у експлоатацији, али и до оружаних сукоба и грађанског рата [28]. Недовољно се уважава околност да описани приступ великих рударских компанија увећава простор за експанзију Кине. У случају потребе, кинески инвеститори су спремни да локалном становништву афричких земаља понуде нешто повољније финансијске услове, али и знатно виши ниво заштите животне средине, што им омогућује да у све већој мери преузимају кључне резерве критичних минерала.

Примена традиционалног рударења са депонијама омогућује инвеститору да оствари значајне уштеде и да увећа профит. Премда нове технологије омогућавају експлоатацију минерала без градње депонија и без ослобађања штетних вода и гасова, оне су за сада нешто скупље. Уместо уважавања високих стандарда заштите животне средине, имплементације нових технологија и прихватања значајних трошкова санације загађених површина, ремедијације и рекултивације ангажованог земљишта, инвеститор у земљама трећег света може изабрати потпуно другачији модел пословања. У земљама са високим коруптивним потенцијалом, инвеститор може усмерити своја средства и напоре ка успостављање међусобног разумевања са локалним политичким лидерима. Финансирање медијских кампања може

помоћи да се локално становништво дезинформише и приволи да прихвати штетно традиционално рударење без већег отпора, и без угрожавања политичког рејтинга аутократских лидера. Описани приступ преовладава у великом броју до сада посматраних случајева. Премда успешан на кратак рок, описани приступ не може пружити дугорочне гаранције нити сигурност снабдевања траженим минералима. Противно обећањима представника ЕУ да ће гарантовати за заштиту животне средине, људских права и здравља људи у земљама из којих прибавља минерале, и упркос декларативном залагању ЕУ за праведнију расподелу добити од рударства, водеће европске компаније и даље прибављају минерале из Марока (Манагем) и из Конга (ДРК) где је експлоатација праћена девастацијом животне средине, загађењем вода, злостављањем деце и угрожавањем основних људских права. Описано стање вешто користе кинески инвеститори.

Кинески инвеститори су спремни да понуде напредније и еколошки прихватљивије облике рударења у свим приликама где им такав приступ даје предност, ставља их у повољан положај и омогућава им стицање контроле над новим ресурсима. Међутим, у случајевима када поштовање животне средине није услов или им не доноси одговарајућу корист, и они прибегавају традиционалном рударству са јаловиштима, депонијама, са испуштањем токсичних вода и темељним уништавањем животне средине. Илустративан пример негативних последица традиционалног рударења видљив је на истоку Србије, у Бору и Мајданпеку, градовима у којима кинески инвеститори управљају рудницима бакра и постројењима за прераду.

Рударско-топионичарски басен Бор (РТБ) једини је произвођач бакра и племенитих метала у Србији. Производи катодни бакар и висококвалитетне племените метале. Од децембра 2018. године пословање је у рукама кинеског инвеститора, који је већ утростручио производњу и најављује ново повећање производње, која ће бити петоструко већа од почетне. Повећање производње прати прекомерна емисија токсичних материја, до 40 пута изнад граничних вредности. Приходи земље домаћина су безначајни, тако да се експлоатација руде у Бору и Мајданпеку може описати као предаја бакра и племенитих метала инвеститору уз девастирајуће ефекте по животну средину и становништво. На основу тржишне вредности бакра (тренутно 9188 евра по тони) и познатих количина бакра добијеног из Бора и Мајданпека на годишњем нивоу (приближно 240 хиљада тона), бруто приход од продаје бакра износи 2205 милиона евра. Према доступним подацима за 2021. годину, Србија је на име рудне ренте добила свега 13,6 милиона евра. Због нетранспарентности и недоступности података, тешко је утврдити тачан износ укупних прихода Србије од РТБ-а, који укључују различите таксе, порезе и издвајања по другим основама, али се укупни приходи процењују на 50 до 60 милиона евра, односно 2,72% тржишне вредности добијеног бакра. Када би се у обрачунску основицу укључила и вредност злата, других племенитих метала и бројних вредних минерала које инвеститор извози из Србије у виду концентрата, онда би учешће прихода Србије у вредности добијених минерала било знатно мање од 2,72%.



Сл. 3: Екстракција и прерада руде бакра у Бору и Мајданпеку врши се без санације и мелиорације земљишта, уз загађење водотокова у мери у којој замире сваки облик живота, и уз девастацију шума и пољопривредног земљишта. Загађење канцерогеним супстанцама премашује границе више десетина пута, али се радови не прекидају већ продужују и проширују уз пуну сагласност и подршку Владе Србије.

Кинески инвеститор извози значајан део концентрата руде који се прерађује изван Србије, тако да подаци о укупној количини племенитих метала и вредних минерала нису доступни. Познато је да Република Србија има могућност да откупљује злато ископано на територији Републике Србије по цени за 3% мањој од тржишне. Постројење топионице и прераде у Бору све чешће прерађује концентрат богат арсеном. Према извештају бр. 1411-24 од 15. маја 2024. године, начињеном у лабораторијама Рударско-металуршког института у Бору, концентрација кадмијума у честицама PM_{10} премашила је граничну вредност за 35 пута, док је одговарајућа концентрација арсена премашила граничну вредност за 23 пута. Релевантни (и алармантни) подаци о средњим годишњим концентрацијама кадмијума и арсена, изузетно опасним супстанцама, налазе се у раду [29].

Током 2022. Године, у Дому здравља у граду Бору пребројано је око 4000 картона онколошких пацијената. Према подацима Националног института за јавно здравље Србије др Милан Јовановић Батут, у Бору сваке године оболели од рака око 800 нових пацијената. Подаци о броју оболелих у 2023. и 2024. години нису доступни, док медији под контролом власти умањују проблем, сугеришући да је укупан број онколошких пацијената једнак броју новооболелих, чиме се укупан број онколошких пацијената у Бору приказује петоструко мањим него што доиста јесте. И поред алармантног нивоа загађења, рад у рудника и постројења Бору и Мајданпеку не престаје, уз образложење да би заустављање операција које загађују животну средину довело до губитка радних места. Међутим, такво образложење није поткрепљено чињеницама. У Бору тренутно ради око 6.000 држављана Србије и знатно већи број држављана Кине, који се процењује на 22.000. Долазак кинеског инвеститора довео је до затварања послова у мањим предузећима и кооперантима који су запошљавали грађане Србије и пружали специјализоване услуге рударско-топионичарском комплексу. Долазак кинеског инвеститора је довео до губитка посла за многе грађане Србије, док је садашње стање веома неповољно. Услед екстремно високог загађења канцерогеним супстанцама, број онколошких пацијената се ближи броју запослених грађана Србије, што потврђује да је долазак кинеског инвеститора угрозио интересе Републике Србије на више начина.

Поједини рудници под управом кинеског инвеститора снабдевају се техничком водом из градског водовода, где им је дат приоритет, тако да становништво током летњих месеци може остати без воде да би се обезбедио рудник. Пошто део кинеских радника долази на посао у Србију у оквиру неке врсте санкција, у Бору постоји и кинеска група за спровођење закона, слична полицији, која контролише делове територије Републике Србије. Кинеска радна снага често долази у Бор и Мајданпек без потребних квалификација, са намером да стекну основну обуку и уче на грешкама. Слична појава је присутна и код кинеских компанија ангажованих на великим грађевинским подухватима. Обука подразумева практичан рад и учење на грешкама, што се одражава на квалитет радова и безбедност корисника грађевинских и других објеката. По одласку из Србије, обучени кинески радници су много спремнији за рад у земљама где грешке нису прихватљиве. Међутим, њихове грешке остају у Бору, Мајданпеку и где год да су радили у Србији.

У Бору је током протекле деценије број грађана Србије смањен за 20 одсто, док ће према предвиђањима за 2050. годину бити додатно преполовљен. И поред одласка кинеских радника који завршавају своју обуку у РТБ-у, број кинеских држављана који живе у Бору се стално увећава захваљујући новопродошлим. Укупна слика Бора и Мајданпека се мења на веома неповољан начин. Практично, обустављене су скоро све привредне активности осим рударства и рударских активности. Преостало становништво се смањује и живи без перспективе и наде. Недостаје и способности и воље да грађани Бора препознају, артикулишу и бране своје виталне интересе. Уместо да буду субјекти друштвене динамике, они се свде на пуне објекте и стога жртве. Становништво је пасивизирано повлачењем државе Србије из Бора и Мајданпека, непоштовањем закона и одлуком надлежних да последицама неповољних одлука страних инвеститора буду изложени не само минерално благо већ и живи свет Борског округа. Пасивност становништва погодује интересима инвеститора и помаже аутократској власти да профитира на запостављању интереса сопствених грађана. Иако у Европи, слике из Бора и Мајданпека у многоме одговарају призорима из Конга, Марока или Папуе Нове Гвинеје.

Већина примера рударења у земљама трећег света донела је локалном становништву искуства слична онима у Бору и Мајданпеку. Велике рударске компаније износе концентрат или минерале из земље, остављајући занемарљив приход локалном становништву и држави. Користи се традиционално рударење са депонијама које доводи до девастирајућег загађења земљишта, воде и ваздуха, уништава биоценозе, доводи до озбиљних болести које скраћују животни век становништва, и не оставља простор за продуктиван живот било које врсте осим рударења. У датим условима, локално становништво је доведено у врло тежак положај. У безизлазном стању, локално становништво може прибећи очајничким корацима. Примери широм света укључују и оружане побуне које су доводиле и до грађанског рата. Све наведено угрожава дугорочну стабилност и сигурност глобалног снабдевања минералима.

6. Економске, еколошке и политичке импликације пројекта Јадар

Напори земаља Европе, пре свега Немачке, да смање своју зависност од Кине набавком минерала у Србији наишли су на отпор јавности. Сагледавање кључних импликација пројекта Јадар превазилази уско стручну дискусију, али се без сагледавања свих последица не могу формулисати закључци од значаја за главне циљеве и поруке овог рада. У наставку следи кратка дискусија о (i) новоусвојеним законима Србије који промовишу интересе рударских компанија на штету интереса становништва, (ii) финансијским ефектима експлоатације јадарита, (iii) ризицима по локално становништво и животну средину које доноси пројекат Јадар, (iv) ставовима и плановима инвеститора, (v) угрожавању водоснабдевања у великом делу Републике Србије, (vi) досадашњој политици и корацима ЕУ, као и (vii) неповољним утицајима пројекта Јадар на односе Републике Србије и ЕУ.



Сл. 4. Долина Јадра: Један од ретких примера где пољопривредна производња омогућава процват традиционалног села, где су школе пуне ђака, и где велики број младих планира да остану на селу. Приказани простор лежи на водоносном систему од кључног значаја за Републику Србију.

6.1. Нови закони који промовишу експлоатацију минералних ресурса

Током неколико претходних година донет је низ закона и регулаторних аката Републике Србије који одговара интересима великих рударских компанија, али који у великој мери нарушавају интересе грађана Србије. У контексту основних порука овог текста, потребно је сагледати утицај извршне на законодавну и судску власт у Србији, кораке локалних руководећих политичара као и делатност представника ЕУ у оквиру напора да се, противно недвосмислено исказаној вољи јавности, започну активности на имплементацији пројекта Јадар, те да се приволи јавност да то прихвати без отпора и без озбиљнијих ризика по опстанак владајућег режима. Према важећем закону о рударству и геолошким истраживањима [30],

националним институцијама је практично онемогућено да изводе примењена геолошка истраживања, тј. да се баве истраживањем минерала. То могу чинити једино по налогу Владе Републике Србије, што се није догодило ни један једини пут од доношења поменутог закона. Истраживање минерала доступно је бројним приватним компанијама, по правилу у власништву или под контролом великих рударских компанија, које веома брзо, лако и јевтино долазе до одговарајућих дозвола. Законске одредбе истог закона дају право првенство експлоатације компанијама које су спроводиле истраживање и утврдиле налазишта, чиме је искључена могућност расписивања међународног тендера ради добијање најповољније понуде. Премда одредбе одговарајућег закона и одговарајућа регулатива предвиђају оштро санкционисање загађења животне средине услед нестручне или несавесне израде истражних бушотина, примена санкција је недоследна или сасвим изостаје у случајевима где се истраживања спроводе за рачун великих међународних рударских компанија. Укратко, усвојени закони доводе до праксе по којој право на истраживање и експлоатацију минерала у Србији могу имати искључиво велике међународне рударске компаније или њиховим представници. Расправа о мотивима и интересима одговорних за доношење оваквих закона је изван оквира овог текста. Предметно закон [30] заснован је на одговарајућим законима Демократске Републике Конга и Монголије, који садрже елементе у свему непримерене ЕУ, али се његовом усвајању у нису противили представници ЕУ задужени за процес придруживања Србије.

Постоји јасно изражен интерес међународних рударских компанија да, између осталог, експлоатишу борате и никл у Србији. Традиционално рударење са депонијама и испуштањем отпадних вода доводи до загађења земљишта и вода бором, никлом, и другим токсичним садржајима који се из дубина рудног тела допремају на површину земље. Прекомерна количина бора у земљишту спречава раст биљака [31], док превелика количина никла чини воду непогодном за пиће. Србија је донедавно имала прописе који ограничавају максималну количину бора у земљишту. Такви прописи би могли обавезати рударске компаније да примењују савремене рударске технологије без депонија и без испуштања вода из рудника и постројења у окружење. Међутим, новоусвојена уредба [32] искључује бор са листе загађивача земљишта у Републици Србији, што инвеститорима пружа могућност да експлоатишу бор и борате јевтиним технологијама, уз девастацију земљишта и вода, а да при томе избегну било какве санкције и сваку одговорност за начињену штету. Слично томе, повећане концентрације никла у води се више неће користити за одређивање хемијског статуса воде [33], што би могло да отклони сваку потребу великих рударских компанија у Србији да инвестирају у опрему која би спречила или ограничила загађење воде никлом. Укратко, у Србији су створени услови да рударске компаније раде на традиционалан начин, са токсичним депонијама јаловине и отпада, са испуштањем вода из рудника, депоније и постројења у животну средину и са коришћењем великих количина фосилних горива, а да при томе могу избећи било какву финансијску одговорност или законом прописане санкције. У складу са искуствима у Бору и Мајданпеку, родници и постројења се не би заустављала чак ни у случају где емисије токсичних супстанци више десетина пута премашују граничне вредности.



Сл. 5. Фотографија је снимљена у долини Јадра, у близини истражних бунара где токсичне подземне воде доспевају на површину. Због значајне концентрације бора и других токсичних садржаја, утицај на живи свет је непоправљив.

6.2. Финансијски аспекти експлоатације јадарита

Јавно оглашена намера инвеститора који су стигли у западну Србију је градња рудника и постројења за експлоатацију бората. У долини Јадра утврђена су налазишта минерала јадарита, који поред бора садржи и литијум. Иако су литијум и бор у долини Јадра први открили српски научници [34] 1999. године, држава је пропустила прилику да постане једини власник права на експлоатацију. После низа случајних или намерних пропуста државе, минерал јадарит је формално окарактерисан 2007. године [35] ван граница Србије. У коначном исходу, право првенства експлоатације јадарита нису добиле националне институције или компаније.

Подаци о потенцијалним финансијским ефектима пројекта Јадар и о еколошким ризицима доступни су из већег броја извора чије се тврдње значајно разликују. Водећи српски политичари и промотери пројекта Јадар наводе да ће БДП Србије бити повећан за 10-12 милијарди евра [36], да ће се литијум првенствено користити за дуго обећану производњу батеријских електричних возила у Србији, да ће бити отворено 20.000 нових радних места и да ће се експлоатација одвијати у складу са зеленом агендом и са „највишим стандардима животне средине заштите“. Српски политички лидери су такође изјавили да српске резерве литијума достижу 10% светских резерви литијума, иако оне заправо представљају само око 1% светских резерви [37]. Стручњаци који раде у за рачун инвеститора [38] тврде да ће пројекат Јадар током активног рада увећавати БДП Србије за 695 милиона евра, да ће радови на градњи рудника и постројења ангажовати 3500 запослених, док ће током вишедеценијског активног рада рудника и постројења бити ангажовано 1300 запослених.

Значајне разлике у пројекцији о увећању БДП Србије зависе од усвојених претпоставки. Процене политичара и промотера пројекта Јадар темеље се на очекивањима да ће отварање рудника у Јадру бити залог за развој аутомобилске индустрије у Србији, премда тржишна вредност литијума ангажованог у производњи батеријских аутомобила износи свега 1.5%, као и жељи да ће Србија бити уврштена међу водеће произвођаче електричних батеријских аутомобила, премда глобални трендови и промене на тржишту чине такву жељу нереалном. Поред тога, у коришћењу БДП као индикатора потребан је опрез. Досадашња искуства у Бору и Мајданпеку, али и искуства бројних земаља трећег света говоре да допринос националном БДП од експлоатације минерала превасходно мера вредности које се износе из земље, пре него мера користи за локално становништво. У погледу опипљиве користи за Србију, наводи се [38] да ће пројекат Јадар доносити 40 милиона евра годишње по основу рудне ренте, плативих тек када истекне период иницијалних субвенција. Формулације дате у документу [38] имплицитно потврђују да су представници владајућег режима у Србији спремни да инвеститорима пруже и субвенције. Већ пружене погодности укључују градњу релевантне инфраструктуре о трошку грађана Србије, прилагођавања закона интересима инвеститора, прихватања депонија и испуштања вода из рудника и постројења, недоследна примена законских санкција за противзаконита дела, прихватање значајних ризика по животну средину и водоснабдевање, подршка инвеститорима у откупу земљишта и у напорима да се спроведе расељавање становништва, као и активно учествовање врха власти у промоцији интереса инвеститора. Наведене околности стварају отпор локалног становништва и грађана Србије, који сагледавају потребу да се подробније проучи законитост досадашњих активности великих рударских компанија у Србији, као и природа њихових веза са представницима владајућег режима.

Водећи европски представници изражавају потребу за набавком сировина из Србије, демантујући тврдње српских политичара да ће се литијум користити за производњу електричних возила у Србији. Они такође потврђују да ЕУ покушава да добије минерале из Србије како би се ослободила зависности од минерала из Кине [39]. Док политичари ЕУ настоје да приволе Србију на традиционално, депонијско рударење литијума, проф. Клаудија Кемферт [40], [41], немачки енергетски економиста, потврђује да земље ЕУ имају високе стандарде заштите животне средине, због којих би рударење на територији ЕУ било прескупо. С друге стране, поменути високи стандарди се не морају поштовати у земљама ван Европске уније, што доказују искуства у Мароку и Конгу. Прећутна политика ЕУ у погледу набавке критичних минерала из земаља изван Уније [40], [41] је у супротности са тврдњама српских власти да ће пројекат Јадар бити изведен по највишим стандардима. Она потврђује да је ископавање литијума у Србији проблематично, док потенцијална штета по животну средину може бити веома озбиљна. Ископавање литијума може контаминирати подземне воде тешким металима и загадити воду за пиће. Потврђено је [40], [41] да српске организације за заштиту животне средине одавно с правом истичу да досадашња пракса потенцијалних инвеститора у погледу поштовања еколошких стандарда није охрабрујућа, те да намере Немачке да у Србији добије критичне минерале представљају својеврстан извоз еколошких ризика и штета из Немачке у Србију.



Сл. 6. У настојању да се поправи оштећење приказано на Сл. 5, контаминирано земљиште у близини истражних бунара је уклоњено и непрописно одложено поред оближњег језера. Вода у иначе живописном рибњаку убрзо је показала видљиве знаке озбиљне контаминације.

Група независних економских експерата [42], међу којима су некадашњи гувернер Народне банке Републике Србије и угледни универзитетски професори, тврди да пројекат Јадар није оправдан и да га треба обуставити. Наводе да би Србија од тог пројекта имала занемарљив нето приход по свим основама, процењен на 17,4 милиона евра годишње, што представља 2,6 евра по глави становника. Према налазима стручњака [43], пројекат Јадар би угрозио директне приходе од пољопривреде у износу од 81,96 милиона евра годишње, што далеко премашује потенцијалне приходе од рударења, а веома су извесне и индиректне штете. Продаја малина из западне Србије може допринети извозу више од 400 милиона евра годишње. Субјективна неспремност потенцијалних купаца да се одреде за малину из рударског региона може значајно умањити приходе од извоза малина уколико буде покренут пројекат Јадар.

Стручњаци су упозорили [42] на бројне технике смањења нето прихода држава у којима велике рударске компаније врше експлоатацију критичних минерала, међу којима су и технике које се већ користе у Бору и Мајданпеку. У случајевима где се извози концентрат или рафинирани минерал, док се израда готових производа обавља другде, земља у којој се рудари изложена је највећем загађењу и заузврат добија симболичне приходе. Инвеститор може формално изместити нове вредности и опорезиве износе и средства у пореску јурисдикцију других земаља, и тиме ускратити земљу-домаћина. Уместо ангажовања подизвођача, куповине добара и плаћања услуга у земљи где се врши експлоатација, инвеститор се може одредити за подизвођаче, робу и услуге изван земље-домаћина, на штету њених прихода. На име нејасно дефинисаних консултација, информатичких или других услуга могуће је обавити значајна плаћања према иностранству, чиме се привидно смањује нето приход инвеститора, као и све дажбине које се обрачунавају на основу нето прихода. На основу досадашњих сазнања [42], већ се инвестира, о трошку грађана Србије, неколико стотина милиона евра за изградњу неопходне инфраструктуре, док су у плану и индиректне субвенције компанијама повезаним са инвеститором, у износу који премашује 400 милиона евра. Треба напоменути да већина набавки

машина, друге опреме, хемијских реагенаса, техничких консултација и других роба и услуга била плаћана скоро искључиво страним добављачима [42], без значајних прихода и без икакве користи за Србију.

Наведени разлози указују да како постојеће тако и планирано рударење у Србији за рачун великих страних рударских компанија доноси незнатне приходе и није од користи за Србију, што се већ може сагледати у Бору и Мајданпеку, а што предвиђају наши независни стручњаци [42] за пројекат Јадар. Страни инвеститори настоје да послују преко својих филијала или зависних компанија које су регистроване у Србији, и које имају ограничен капацитет да надокнаде начињену штету. То им пружа могућност да остваре значајан приход, али да избегну одговорност за настале штете, трошкове санације, ремедијације и рекултивације загађеног земљишта, трошкове декомисије као и дуготрајног одржавања депонија јаловине и отпада како би се спречило излучивање тоскичних материја током наредних векова.

6.3. Ризици које доноси пројекат Јадар

Рецензирани и вишеструко верификовани научни рад [43] садржи анализе и чињенице које указују на неприхватљиве еко-хемијске ризике експлоатације јадарита и екстракције литијума које стварају проблематична технолошка решења. Аутори указују на околност да се рудник планира на кључном водоносном систему Републике Србије који није погодан за рударске активности јер би то у великој мери угрозило водоснабдевање. Поменути рад је подвргнут строгој рецензији, уобичајеној за угледне научне публикације. Поред тога, чланак је одолио озбиљним али неуспелим напорима поборника пројекта Јадар да се негирају представљене чињенице и да се чланак повуче. Након двоструке провере, објављеним тврдњама треба дати значај научно потврђених чињеница. У публикацији [43] се наводи да пројекат Јадар угрожава водоснабдевање 2,5 милиона људи, да би заузео територију на којој живи 20 000 људи, међу којима би неколико хиљада пољопривредника остало без посла. Они наводе да, упркос предложеној најављеној новој технологији, компанија не успе да сведе загађење земљишта и воде бором у прихватљиве оквире [44]. На несрећу грађана Србије, недавно је повучена уредба [44] из 1994. године, којом се забрањује прекомерно загађење земљишта бором. У важећој уредби није прописан максимални садржај бора у земљишту, дакле, не постоји горња граница коју инвеститор не би смео прећи. Стога је могуће експлоатисати јадарит, добијати борате, и при томе некажњено уништавати велике површине земљишта.

На основу сазнања о токсичним концентрацијама, бора, експериментално утврђених података о уделу бора растворљивог у води и података о укупним количинама бора у различитим фазама експлоатације, прераде, одлагања и излучивања, у раду [43] је доказано да би пројекат Јадар довео до деградације земљишта и дезертификације у великом обиму. Поред тоскичних садржаја које би се излучивале из планираних јаловишта и депонија, проблем представља и одводњавање рудника. Токсичне воде у зони рудног тела на површину доносе бор, арсен и литијум. Научници [43] указују да ће планирани рудник на Јадру, слично рудницама из 19. века, имати депоније јаловине и отпада, и да ће испуштати воду из рудника и постројења у животну средину, премда постоје савременије, нешто скупље технологије које омогућују рад без депонија, као и технологије које омогућују рад са нултим излучивањем течности [45]. Токсичне воде из депонија, рудника и постројења могуће је убризгати дубоко у утробу земље, у геолошке слојеве на дубини рудног тела, нешто даље од самог рудника, док се

у неким случајевима практикује реинјекције у ниво испод одговарајућег водонепропусног слоја [46]. Научници [43] указују на већ видљиве негативне ефекте уништавања земљишта око постојећих истражних бушотина у долини Јадра и другде. Они указују на значајну мобилност покретљивост бора, на висок удео бора растворљивог у води и на значајне, видљиве ефекте девастације у зонама око истражних бушотина. Њихов закључак је да је оптимално решење за пројекат Јадар његова обустава.



Сл. 7. Долина Јадра је често изложена поплавама, због чега није прихватљива идеја о изградњи депонија које садрже значајне количине бора због непосредне опасности од контаминације земљишта великих размера.

6.4. Јавно исказани ставови и планови инвеститора

Однос инвеститора према питањима животне средине огледа се и у јавним наступима њихових представника. Током разговора заинтересованих мештана, представника владајућег режима, директора и инжењера потенцијалних инвеститора расправљало се о пројекту Јадар [47]. Инжењери инвеститора су нагласили да их принцип инжењерске рационалности спречава да пројекат Јадар реализују тако да никада не дође до испуштања токсичних вода у околину. Они су потврдили да ће се део токсичних вода испустити у окружење у условима обилних, „удесних“ падавина које су окарактерисане као „стогодишње воде“ [47]. План који подразумева да се у случају великих падавина плодна земља западне Србије изложи токсичним супстанцама које укључују бор, арсен и литијум може бити индиција да се земља и становништво Србије сматрају мање вредним, у уверењу да се у Србији сме чинити и оно што се другде не сме. Уз то, према досадашњим сазнањима, трошкове ремедијације и рекултивације загађеног земљишта морала би сносити Република Србија. Да ствар буде гора, постоје јасне индиције да ће се описани инциденти догађати много чешће него једном у 100 година. Услед климатских промена јавља се тенденција да се веома значајне количине падавина стекну у изузетно кратком временском интервалу. Током последњих година, максималне месечне количине падавина у Србији су премашиле 480 mm, максималне дневне преко 210 mm, а тродневне падавине у басену долине Јадра премашиле су 250 mm. Наведене промене су у складу са трендовима на глобалном нивоу [48]. У својој изјави за националну телевизијску кућу, инжењер Милутин Стефановић из Водопривредног института Јарослав Черни, навео је да се у Србији од 2014. године готово сваке године дешавају такозване „100-годишње поплаве“. Говорећи у региону

Балкана, сличне тврдње исказује и хрватски стручњак Огњен Бонаћи. Имајући у виду дате околности и исказане намере инвеститора [47], реализација пројекта би могла довести до девастирајућих ефеката. Уз већ видљив утицај климатских промена и очекивану инцидентност такозваних „100-годишњих вода“ у долини Јадра, такозвано „удесно“ изливање токсичног бора, арсена и литијума на плодно земљиште западне Србије могло би се догађати скоро сваке године.

План инвеститора да уз позив на „инжењерску рационалност“ начини уштеде тиме што ће избећи трошкове реинјекције токсичних вода у геолошке слојеве [46] или трошкове технологије са нултим излучивањем течности [45] није у складу са чланом 19. Закона о заштити земљишта [49], који забрањује испуштање и одлагање загађујућих, штетних и опасних материја и отпадних вода на површину земљишта и у тло. Након било ког од наведених „удесних“ изливања токсичне воде, чланови 20. и 21. истог закона захтевали би моментално затварање постројења и обуставу свих рударских и прерађивачких операција, док би трошкови санације штете и рекултивације земљишта пали на терет инвеститора. Нажалост, у Србији се наведени закони често не примењују у случајевима где су предвиђене мере и санкције усмерене против интереса страних инвеститора. Досадашња искуства говоре да није реално очекивати да рудник и постројење који загађују буду принуђени да прекину рад и да плате за начињену штету, већ је извесније да ће се експлоатација минерала и емисија загађења наставити без прекида до следећих „удесних“ падавина.

Правдајући своју потребу да прибегну „инжењерској рационализацији“ и да у случају „удесних“ падавина испусте токсичне воде у окружење, инжењери инвеститора су навели [47] да ће, у условима обилних падавина, токсична вода бити разблажена великим количинама чисте воде коју доносе падавине. Намера разблаживања опасних и токсичних материја чистим супстанцама је у супротности са фундаменталним еколошким принципима. Иако се недоследно примењује, чак и Закон о управљању отпадом Републике Србије [50] у својим члановима 26, 38, 43 и 44 забрањује мешање опасних материја са водом и забрањује свако разблаживање опасних материја. Еколошки принципи сугеришу да опасне супстанце не би требало мешати са чистим, и да није прихватљиво разблаживање ради смањења концентрације токсичних материја ради промене категоризације опасних супстанци у неопасне. Бројна искуства широм света указују да неосетљивост на проблеме животне средине може бити знак да су инвеститори склони блиској сарадњи са ауторитарним режимима како би избегли трошкове скопчане са поштовањем еколошких правила, принципа и прописа. Наведени аспекти нису једини и не најважнији проблеми пројекта Јадар. У писаној комуникацији са потенцијалним инвеститорима [61], истакнути српски научници тврде да упркос настојањима да се изнађе опортунно тумачење чланова Закона о управљању отпадом, инвеститори нису успели да оправдају предлог за отварање рудника, погона за прераду и депонија на водоносном тлу као што је долина Јадра, јер нису задовољени чланови 3, 6, 44 и 65 Закона о управљању отпадом, као ни члан 18. (повезано са чл. 23, 13) Директиве 2008/98/ЕЗ Европског парламента и Савета (19.11.2008, 18.02.2024). Научници постављају питање зашто се планира и пројектује одлагање отпада на начин који је у супротности са релевантним законима Републике Србије и ЕУ директивама.

Однос инвеститора према питањима животне средине да се сагледат и из њихове најаве да намеравају учити из грешака, као и из изјаве заговорника пројекта Јадар како се рад може обуставити ако дође до већег инцидента. Планирано учење на грешкама сугерише да је комплетан подухват заправо експеримент са неизвесним исходом. Будући да би планиране операције у долини Јадра биле први пример рударења и прераде јадарита, оне би се изводиле без претходног искуства у рудницима и постројењима сличног типа, величине и намене.

Нажалост, свака грешка на којој би се инвеститори могли нечему научити створила би трајну и непоправљиву штету [43] људима, живом свету, животној средини и водоснабдевању у Србији. Обећано заустављање у случају већег инцидента би могли спречити даље штете, али би већ начињене биле непоправљиве и неприхватљиве. С друге стране, у Србији законска обавеза заустављања рада загађивача још увек нема конзистентну примену, тако да обећања да ће пројекат бити обустављен у случају удеса или инцидента нису уверљива. Коначно, није расположива информације да је инвеститор преузео неопозиву обавезу о надокнади свих штета које могу настати, нити да гарантује преузимање трошкова трошкове санације, ремедијације и рекултивације, уз уобичајене финансијске инструменте и осигурања који гарантују безусловно извршење преузетих обавеза чак и у случају да инвеститор не располаже траженим средствима или да је одговорна компанија банкротирала.

Јавно исказано залагање инвеститора и промотера пројекта Јадар за достизање циљева зелене агенде није праћено одговарајућим плановима. Предвиђен је површински транспорт материјала [51], уз коришћење фосилних горива и подизање прашине са токсичним садржајем, уместо коришћења распрострањеног подземног транспорта материјала уз коришћење електричне енергије. Широм применом електрификације и уз нешто веће трошкове пројекат Јадар би се могао приближити циљевима Зелене агенде. Уместо тога, предвиђена је употреба великих количина фосилних горива, што би довело до значајних емисија CO₂ и што би неповољно утицало на угљенични отисак Србије.

Према Табели IV, укупна количина енергије коју треба утрошити (тј. енергетски интензитет) литијума добијеног из подземног лежишта руде је преко шест пута већа од енергије потребне за добијање литијума из воде (брине) у сланим језерима [19]. Из јавно доступних података о пројекту Јадар [51] могуће начинити процену укупних количина фосилних горива и других екстерних или интерних потреба за енергијом. Коначан исход показује да би енергетски интензитет екстракције литијума из подземне руде јадарита био, слично литијуму добијеном из сподумена, неколико пута већи од енергетског интензитета литијума екстрахованог из слане воде сланог језера. Овакав исход говори да експлоатација литијума из јадарита не може имати перспективу на дужи рок. Наиме, премда се вредност робе обично изражава тржишном ценом, процене на дужи рок треба заснивати на количини енергије и минерала неопходних за добијање робе. Будући да је екстракција литијума из сланих вода енергетски вишеструко јевтинија, екстракција из тврдих стена је инфериорна на дужи рок. Наведена разматрања су један од разлога седмоструког пада цене литијума забележеног од новембра 2022. године. Ова околност доводи у питање изгледе за зараду од продаје литијума из Јадра, подсећа на првобитне намере инвеститора да експлоатише борате, и ствара сумњу да је литијум стављен у први план из пропагандних разлога, ради илакшег преумљавања јавности.

Став страних рударских компанија које тренутно раде у Србији о питањима заштите животне средине често одражава уверење у културну и цивилизацијску инфериорност локалног становништва. Овакав став поткрепљује и чињеница да се доносе закони који су супротни интересима грађана, а да се ни ти закони не поштују када делују против интереса великих инвеститора. У Србији постоји око 250 рударских депонија, и ниједна није санирана нити рекултивисана, док кршење прописа рударских предузећа контролише симболичан број инспектора. Наведене околности сугеришу да начелна залагања и неодређена обећања великих рударских компанија и европских политичара треба узети са резервом, и да не треба искључити могућност да их Србија привлачи пре свега због високог коруптивног потенцијала, некомпетентности да заштити своје интересе и спремности да будзашто предаје своје минерале

уз девестирање животне средине, угрожавање водоснабдевања и дезертификацију великих размера.

6.5. Угрожавање водоснабдевања

У раду [43] дате су чињеницама поткрепљене тврдње да би пројекат Јадар угрозио водоснабдевање за 2,5 милиона људи. У Србији се истичу три водоносна система, међу којима је најзначајнији у Мачви, са којим је долина Јадра уско повезана. У овом региону постоји специфична конфигурација наслага песка и шљунка која филтрира и складишти воду која пристиже прихрањивањем. Налазе се неколико десетина метара под земљом, са високим степеном порозности и великим количинама воде за пиће. Лежишта се простиру дуж реке Дрине и директно су повезана са целим тереном Мачванског и Јадарског краја. Највећа дебљина поменутих наслага је дуж тока Дрине и креће се од 50 до 75 метара, док се у остатку Мачве креће од 20 до 40 метара. Ово подручје представља најзначајнији резервоар подземних вода у западној Србији [52]. Аутори [43] предвиђају да би пројекат Јадар и његове отпадне воде представљале висок ризик од угрожавања водоводних система у већим размерама. Уништавање најважнијег водоводног система Србије угрозиће водоснабдевање великог дела становништва Републике Србије. Утицај рударских активности на водоснабдевање и ресурсе подземних вода је добро проучен [53]-[58]. Расположиве и спроведене анализе сугеришу да у сложеним геолошким структурама и водоносним системима, попут оних у Мачви и Јадру, не би требало градити руднике нити обављати примењена геолошка истраживања, док би све бушотине требало ограничити и вршити искључиво за потребе праћења квалитета подземних вода. До сличног закључка дошли су водећи српски научници 2021. године [59], који предлажу да се рударство не сме дозволити у насељеним местима са плодним земљиштем, стратешким залихама воде за пиће, профитабилном пољопривредом и повољном демографијом.

У Српској академији наука и уметности је 6. и 7. маја 2021. године одржан научни скуп „Пројекат Јадар: шта је познато“ [59]. Конференција је окупила водеће научнике, квалификоване стручњаке, представнике власти, представнике потенцијалних инвеститора, као и представнике трећих лица која сарађују са инвеститорима. Главни резултати конференције објављени су у Зборнику, док се сажетак закључака може наћи на страницама 17 и 18 Зборника (превод на енглески у [60]), где се наводи да ће пројекат Јадар довести до масовне девастације простора, трајних промена у карактеру пејзажа, деградације биодиверзитета, земљишта, шума, површинских и подземних вода, расељавања локалног становништва, престанка одрживих и профитабилних пољопривредних активности и успостављања сценарија трајног ризика по здравље мештана оближњих села и града Лознице. Научници закључују и да би наставак неконтролисаних реализација сличних рударских пројеката довео до озбиљних поремећаја екосистема, деградације животне средине и био би показатељ неспособности државе, али и шире друштвене заједнице, да сагледа штету које такве активности чине јавном интересу. Није прихватљиво да било какав облик привредног развоја доведе до угрожавања животне средине у мери у којој би то чинио пројекат Јадар. Последице расељавања становништва и лишавња будућих генерација животног простора, воде за пиће, здраве хране, плодне земље и очуване, чисте и разноврсне природе није прихватљиво у земљи која настоји да постане део цивилизованог света. Уместо девастације нових предела, потребно је санирати и рекултивисати постојеће депоније, како би се прекинуло излучивање њихових токсичних садржаја у окружење. У међувремену, требало би забранити све пројекте који предвиђају изградњу јаловишта, депоније отпада и испуштање вода. Не постоји интерес Републике Србије да допусти рударење у насељеним местима, на плодном земљишту, нити у зонама од значаја за

водоснабдевање. Активности сличне пројекту Јадар могу се дозволити само у пустињама, на ненасељеном и неплодном терену, далеко од живог света, далеко од људи и од стратешких резерви воде. С обзиром да је стратешки интерес Србије ближе повезивање за земљама Европе, рудници са депонијама јаловине и отпада и постројења која планирају излучивање сувишних вода у окружење не би требало да буду дозвољени. Санација, ремедијација и рекултивација простора загађених токсичним материјама је веома скупа, и зато такве просторе не треба умножавати. Високи трошкови санације ће умањити склоност и жељу земаља чланица ЕУ да у своје редове приме Србију, и да тако преузму одговорност за стање животне средине као и значајан део поменутих трошкова. Реализација пројекта Јадар и сличних пројеката оставила би Србију ван Европске уније.

6.6. Досадашња политика ЕУ

Званичници ЕУ охрабрују Србију да постане сировинска база за потребе европске индустрије, али такве позиве не прате чврсте и неупитне гаранције у погледу заштите животне средине у Србији нити изгледи било какве финансијске добити за грађане Србије. У условима распрострањене корупције, неподељене доминације врха владајућег режима над судским, законодавним и извршним властима, недоследне примене устава и закона као и подршке коју званичници ЕУ пружају аутократским властима у Србији, обећања која пристижу из Брисела нису уверљива. Урушавање поверења које је шира јавност имала у Европску унију отвара простор за деловање ваневропских сила, на штету Србије, али и на штету саме Уније.

Европски стручњаци [40], [41] истичу да савремене технологије омогућавају да се рударење и прерада руде обаве са минималним утицајем на животну средину, али и да су трошкови примене таквих технологија још увек високи, на основу чега закључују да рударење на територији ЕУ није исплативо. Поред осталог, високи стандарди заштите животне средине у земљама ЕУ значајно отежавају добијање одговарајућих дозвола. У датим околностима, постоји интерес ЕУ да прибавља критичне минерале у земљама изван Уније, где је допуштено рударење са депонијама јаловине и отпада, где се сувишне воде могу излучивати у окружење, и где се не примењују прописи и стандарди који важе на територији Уније. Одговорни политичари ЕУ истичу да не треба очекивати њихове гаранције за рударење које се одвија у другим земљама, и да је за животну средину у Србији одговорна једино Влада Србије. Српски закони су измењени и прилагођени интересима страних рударских компанија, на штету интереса грађана Србије. Из релевантних прописа Србије [30], [32], [49], [50] уклоњене су токсичне супстанце попут бора, чије би свођење на дозвољене нивое било прескупо за инвеститоре заинтересоване за рударење у Србији. Истовремено, упркос необавезујућим обећањима неких политичара ЕУ да рударство ван Уније неће угрозити животну средину и локално становништво, Европа наставља да набавља минерале из Африке, где је животна средина девастирана, док су радници и становништво изложени дејству токсичних материја, веома тешким условима рада и бројним ризицима по здравље и живот. На основу расположивих сазнања, реализација планираног ископавања литијума у Србији имала би разорне ефекте, упоредиве са онима којима данас сведочимо у Конгу и Мароку. На краћи рок, јавно рударење у Србији на штету животне средине смањило би страхове Европе због минералне зависности од Кине, али би на дужи рок свеукупни ефекти могли бити веома лоши.

6.7. Негативне последице планираног рударења на односе Србије и ЕУ

Покушај да Европа реши кризу у снабдевању критичним минералима кроз јефтино, неодрживо рударење у Србији имао би бројне негативне последице. У основи, ради се о настојању да се еколошке опасности и загађења које прате профитабилно рударење извезу из земаља Уније у Србију, уз темељно угрожавање интереса грађана Србије, и да се то плати политичком подршком аутократским српским властима. Отпор српске јавности према пројектима у којима уже интересне групе остварују профит на рачун животне средине постепено расте, што би, на дужи рок, могло довести у питање сигурност планираног снабдевања критичним минералима. Јевтино рударење на штету животне средине угрожава перспективу, здравље и животе локалног становништва, па се раст отпора не може занемарити и треба га очекивати. Искуства Папуе Нове Гвинеје и Конга показују да се отпор јавности може сузбити оружаном силом ауторитарне владе, али само краткорочно. На односе Србије и ЕУ утиче читав низ актуелних догађаја. Јавни немири у Србији усмерени су против корупције, незаконона и аутократије која обесмишљава институције система и принципе поделе власти. У исто време, званичници ЕУ проналазе разлоге да пруже подршку српским аутократским властима. Оправдана брига ЕУ за снабдевање критичним минералима и смањење зависности од Кине праћена је неразумљивим изостанак бригае за забрињавајуће стање животне средине и за здравље грађана Србије. На територијама Републике Србије које су привремено ван контроле српских власти спроводи се насиље и крше елементарна људска права нашег народа на његовим вековним стаништима. У исто време, званичници ЕУ пружају подршку организаторима поменутог насиља и не противе се настојањима да се преостало становништво криминализује и протера. Обећања о пријему Србије у Унију праћена су претварањем Србије у депонију отпада кога је тешко рециклирати или одложити у земљама ЕУ, као и плановима да се Србија претвори у сировинску базу где ће се минерали добијати јефтино на штету уништавања животне средине и живог света. Наведене околности имају неповољан утицај на односе Србије и ЕУ. Оне стварају претпоставке за утицај ваневропских држава и интересних група, што се коси са дугорочним интересима Србије и дугорочним интересима ЕУ.

7. Дискусија и препоруке

Напори у циљу сузбијања глобалног загревања, сузбијања употребе фосилних горива, достизања нултих нето емисија CO₂ и достизања климатске неутралности заснивају се на направама као што су батерије, електрични аутомобили, соларне електране и ветроелектране. За производњу наведених направа потребне су веома велике количине критичних минерала који су слабо заступљени у Земљиној кори. Њихова експлоатација захтева знатне количине енергије и фосилних горива. Рециклирање је често проблематично, док је рударење без депонија и излучивања сувишних вода релативно скупо. Јевтино депонијско рударење и прерада представљају значајан ризик за животну средину и живи свет, посебно у земљама којима је намењена улога сировинске базе. Спровођење тренутно важеће зелене агенде захтевало би количине ретких земаља, графита, сребра и кобалта које су, респективно, 38, 61, 40, односно 40 пута веће од њихове годишње производње. Потребне количине сребра и кобалта су 1,724 односно 1,711 пута веће од одговарајућих глобалних резерви. Наведени аргументи не иду у прилог одрживости зелене агенде, пре свега стога што се потребни уређаји и системи не могу произвести у потребним количинама. Дугорочно, развој и пројектовање уређаја и система

који се масовно производе требало би да буду усмерени ка коришћењу минерала обилато заступљених у земљиној кори, чији масени удео премашује 0,1%, што укључује силицијум, алуминијум, гвожђе, калцијум, магнезијум, натријум, калијум, титанијум, манган и фосфор. До тада, важно је имати на уму да многи обновљиви извори и бројне друге направе које тренутно користимо заправо нису обновљиви због недостатка минерала. Стога би требало да буду пројектовани на начин који омогућује и олакшава енергетски ефикасно рециклирање, како би се смањиле потребе за рударењем и прерадом критичних минерала.

Зарад сигурног и одрживог снабдевања минералима из земаља трећег света, неопходно је прекинути досадашњу праксу јефтиног рударења са депонијама јаловине и отпада и са масовним уништавањем животне средине. Способност међународних рударских компанија да уоче и искористе коруптивни капацитет локалних власти и да привремено утичу на јавно мњење путем медијских кампања може дати резултате на кратак рок, али није одрживо на дужи рок. Немири у Конгу и грађански рат у Папуи Новој Гвинеји донели су неизвесност у снабдевању минералима, створили проблеме на глобалном нивоу и створили широк простор за утицај Кине и за даље повећање кинеске доминације у области критичних минерала. Да би се постигла дугорочна одрживост и повратила економска моћ нашег континента у светским размерама, неопходно је понудити фер услове становништву рударских колонија. Иако традиционално, еколошки неприхватљиво рударење доноси већи профит, оно није одрживо јер привлачи добављаче минерала на места где излажу животну средину, живи свет и становништво девастацији великих размера која се може видети у Конгу, Мароку и српским градовима Бору и Мајданпеку. Ради дугорочног одрживог снабдевања минералима, пројекат Јадар и сви слични пројекти који укључују депоније јаловине и отпада и излучивање сувишних вода треба забранити. Да би се постигао такав циљ, неопходно је помоћи локалном становништву у циљаним земљама и заштитити их од штетног савеза аутократских власти и великих компанија.

Да би се постигла правична расподела користи и кохерентна заштита животне средине у складу са стандардима ЕУ, неопходно је промовисати транспарентне и мултилатерално контролисане споразуме између земаља добављача сировина и земаља у којима се минерали користе у финалним производима. У земљама које теже уласку у ЕУ, постојеће депоније, загађено земљиште и воде морају се најпре санирати и рекултивисати. Требало би забранити све пројекте који предвиђају изградњу нових депонија или излучивање воде у окружење или реципијенте. Надаље, сви подухвати слични пројекту Јадар и све припреме за изградњу нових рудника морају бити обустављени док се стање земљишта, вода и ваздуха не доведе у исту раван са стањем земљишта, вода и ваздуха у Аустрији, Норвешкој и Луксембургу.

Референце

- [1] World Meteorological Organization, <https://wmo.int/>
- [2] IEA (International Energy Agency) World Energy Outlook 2023, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
- [3] Filonchuk M, Peterson M. P, Zhang L, Hurynovich V, He Y, Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O, 2024, vol. 935, no. 173359, ISSN 0048-9697, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024
- [4] IEA (International Energy Agency) (2020a), World Energy Outlook 2020, <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>

- [5] Carrara S. et al. (2020), Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system, European Commission Joint Research Centre (JRC), DOI: 10.2760/160859%20
- [6] Månberger, A. and Stenqvist, B. (2018), Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development, *Energy Policy*, 119, 226-241, DOI: 10.1016/j.enpol.2018.04.056
- [7] Agusdinata, D. B., Liu, W., Eakin, H. & Romero, H. Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: Towards a research agenda. *Environ. Res. Lett.* 13(12), 123001 (2018).
- [8] Watari, T. et al. (2019), Total material requirement for the global energy transition to 2050: A focus on transport and electricity, *Resources, Conservation and Recycling*, 148, 91-103, DOI: 10.1016/j.resconrec.2019.05.015
- [9] U.S. National Research Council (USNRC), 2008. *Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy*. National Academies Press, Washington, D.C 245 pp.
- [10] Moss, R. L. et al. (2013), The potential risks from metals bottlenecks to the deployment of Strategic Energy Technologies. *Energy Policy*, 55, 556-564, DOI: 10.1016/j.enpol.2012.12.053
- [11] Energy Institute – Statistical Review of World Energy, Retrieved on: 2024-06-20, Retrieved from: <https://www.energyinst.org/statistical-review/>
- [12] Hannah Ritchie and Pablo Rosado (2020) - "Energy Mix" Published online at OurWorldinData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/energy-mix>'
- [13] IEA (International Energy Agency), *World Energy Outlook 2024*, Retrieved from <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>
- [14] IEA (2021), *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions*, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- [15] Argonne National Laboratory (2020).
- [16] B.J. Skinner, A Second Iron Age Ahead, *American Scientist*, vol. 64, 1976, pp. 258–269, also in *Studies in Environmental Science*, Elsevier, vol. 3, 1979, pp. 559-575.
- [17] National Academy of Sciences' Committee on Mineral Resources and the Environment Report (COMRATE, 1975).
- [18] U.S. Geological Survey, 2024, *Mineral commodity summaries 2024: U.S. Geological Survey*, 212 p., <https://doi.org/10.3133/mcs2024>, ISSN: 0076-8952 (print)
- [19] J. C. Kelly et. al, Energy, greenhouse gas, and water life cycle analysis of lithium carbonate and lithium hydroxide monohydrate from brine and ore resources and their use in lithium ion battery cathodes and lithium ion batteries, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 174, 2021, 105762, ISSN 0921-3449
- [20] Magdalena, Ricardo; Valero, Alicia; Palacios, Jose-Luis; and Valero, Antonio (2021) "Mining energy consumption as a function of ore grade decline: the case of lead and zinc," *Journal of Sustainable Mining*: vol. 20, no. 2 , Article 5.
- [21] S. Northey, S. Mohr, G.M. Mudd, Z. Weng, D. Giurco, Modelling future copper ore grade decline based on a detailed assessment of copper resources and mining, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 83, 2014, pp. 190-201, ISSN 0921-3449
- [22] T. Prior, D. Giurco, G. Mudd, L. Mason, J. Behrisch, Resource depletion, peak minerals and the implications for sustainable resource management, *Global Environmental Change*, vol. 22, no. 3, 2012, pp. 577-587, ISSN 0959-3780
- [23] Talens Peiró, L., Villalba Méndez, G. Material and Energy Requirement for Rare Earth Production. *JOM* 65, 1327–1340 (2013). <https://doi.org/10.1007/s11837-013-0719-8>
- [24] Giurco, D., Petrie, J.G., 2007. Strategies for reducing the carbon footprint of copper: new technologies, more recycling or demand management? *Minerals Engineering* 20, 842–853.
- [25] www.amnesty.org/en/documents/AFR62/7010/2023/en/
- [26] Andrew L. Gulley, One hundred years of cobalt production in the Democratic Republic of the Congo, *Resources Policy*, vol. 79, 2022, 103007, ISSN 0301-4207
- [27] www.amnesty.org/en/documents/AFR62/7009/2023/en/
- [28] Callick, Rowan (16 July 2011). "Battle intensifies over Bougainville copper". The Australian. Sydney: News Corp Australia. ISSN 1038-8761.
- [29] T. Apostolovski-Trujić, B. Radović, R. Kovačević, N. Ristić, T. Urošević, V. Tasić, V. Kamenović, „Kvalitet vazduha u gradu boru u 2023. godini (Air quality in the city of Bor in

- 2023)”, Copper, Journal of Institut za rudarstvo i metalurgiju Bor, Alberta Ajnštajna 1, 19210 Bor, vol. 49, no. 1, ISSN-0351-0212, DOI: 10.5937/bakar2401001A
- [30] <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-rudarstvu-i-geoloskim-istrazivanjima.html>
- [31] R. O. Nable et al, Boron toxicity, Plant and Soil vol. 193, 1997, pp. 181–198, Land and Water, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, Chapter 12
- [32] <https://www.paragraf.rs/propisi/uredba-granicnim-vrednostima-zagadjujucih-stetnih-opasnih-materija-zemljistu.html>
- [33] http://www.minpolj.gov.rs/download/Plan_upravljanja_-vodama_do_2027-FINAL.pdf?script=lat
- [34] Obradović, J., Vasić, N., Kašanin-Grubin, M. & Grubin, N. Neogene lacustrine sediments and autillgenic minerals geochemical characteristics. Ann. Geol. Penins. Balk. 63, 135–154 (1999).
- [35] Whitfield, P. S. et al. LiNaSiB3O7(OH)–novel structure of the new borosilicate mineral jadarite determined from laboratory powder diffraction data. Acta Crystallogr. B Struct. Sci. 63(3), 396–401 (2007).
- [36] <https://www.politika.rs/scc/clanak/629305/Mali-Uticaj-projekta-Jadar-na-BDP-izmedu-10-i-12-milijardi-evra-na-godisnjem-nivou>
- [37] Ambrose, H. & Kendall, A. Understanding the future of lithium: Part 1, resource model. J. Ind. Ecol. 24(1), 80–89 (2020).
- [38] Ergo strategy Group, Jadar Project - An Economic Impact of The Jadar Lithium-Borates Project, September 2023, <https://ergostrategygroupp.com/wp-content/uploads/2023/09/Ergo-Strategy-Group-Jadar-Economic-Impact-Assessment-Sep23-SR-spread.pdf>
- [39] <https://apnews.com/article/serbia-germany-lithium-electric-vehicles-633d1ba899f1c56efa4724139519b0e6>
- [40] Claudia Kemfert, 2024. "Lithium-Deal mit Serbien: Ein streitbares Geschäft: Kommentar," DIW Wochenbericht, DIW Berlin, German Institute for Economic Research, vol. 91(31/32), pages 504-504.
- [41] <https://www.dw.com/sr/litijumski-dil-nema%C4%8Dke-i-srbije-problemati%C4%8Dan-iz-dva-razloga/a-70522263>
- [42] <https://balkangreenenergynews.com/wp-content/uploads/2024/10/Koliko-bi-Srbija-dobila-od-projekta-Jadar-Soskic-Popovic-Mijatovic-Drakulic-2024-10-06-151453.pdf>
- [43] Đorđević, D., Tadić, J.M., Grgur, B. et al. The influence of exploration activities of a potential lithium mine to the environment in Western Serbia. Sci Rep 14, 17090 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68072-9>
- [44] Regulation on permitted quantities of dangerous and harmful substances in land and water for irrigation and methods of their testing. Official Gazette of the Republic of Serbia. No 23 (1994).
- [45] GE helps Chinese utilities meet strict environmental standards, Membrane Technology, vol. 2017, no. 6, 2017, pp 9, ISSN 0958-2118
- [46] <https://www.usgs.gov/media/images/wastewater-injection>
- [47] Conversation between concerned local residents and directors and engineers of potential investors interested in the Jadar project, Ljubovija, September 2024, <https://www.youtube.com/watch?v=HsghsaTIzSw>
- [48] W. Chang, M. L. Stein, J. Wang, V. R. Kotamarthi and E. J. Moyer, Changes in Spatiotemporal Precipitation Patterns in Changing Climate Conditions, Journal of Climate, 01 Dec 2016, pp. 8355-8376, DOI: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0844.1>
- [49] <https://www.paragraf.rs/propisi/zakon-o-zastiti-zemljista-republike-srbije.html>
- [50] https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_upravljanju_otpadom.html
- [51] <http://vukosavic.etf.rs/etf/nnv1.html>
- [52] Official Gazette of the Republic of Serbia. Water Management Strategy in the Territory of the Republic of Serbia Until 2034, No. 3/2017 (2017).
- [53] “The impacts of mining activities on water, A technical and legislative guide to support collective action A technical and legislative guide to support collective action“, Produced by Eau Secours with the support of the Coalition Québec meilleure mine, MiningWatch Canada, the Western Mining Action Network, Coalition QLAIM, and the Regroupement Vigilance mines Abitibi-Témiscamingue.

- [54] K. A. C. Deming and T. J. S. Allen, Impacts of Mining on Groundwater Resources: Case Studies and Mitigation Strategies, Journal: Groundwater, Year: 2019, DOI: 10.1111/gwat.12837
- [55] M. P. Stokes and S. R. Andrews, Assessment of Groundwater Impacts Due to Borehole Mining: A Case Study of the Kalahari Copperbelt, Journal: Hydrogeology Journal, Year: 2021, DOI: 10.1007/s10040-021-02315-8
- [56] J. R. Barton and C. K. Williams, Impact of Borehole Mining on Aquifers: Insights from the Queensland Coal Seam Gas Industry, Journal: Environmental Science & Policy, Year: 2020, DOI: 10.1016/j.envsci.2020.05.003
- [57] N. A. Wilson and J. K. Singh, Hydrological Impacts of Borehole Mining in Arid Regions: A Review of Evidence and Management Practices, Journal: Journal of Hydrology, Year: 2018, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2018.05.029
- [58] L. T. Brown and E. J. Clark, Evaluating the Effects of Mining Boreholes on Regional Water Supply: A Simulation Approach, Journal: Water Resources Research, Year: 2022, DOI: 10.1029/2021WR030245
- [59] Serbian Academy of Sciences and Arts, Proceedings of the scientific conference "Project Jadar - what is known", Belgrade, 2021.
- [60] <http://vukosavic.etf.rs/desant/Conclusions.pdf>
- [61] <https://radar.nova.rs/ekonomija/odgovor-na-rio-tinto-projekat-jadar/>